

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan fundamental dalam ekosistem energi modern, berfungsi sebagai arteri vital yang menghubungkan unit-unit pembangkit listrik dengan beragam entitas konsumen, baik rumah tangga, komersial, maupun industri. Karakteristik utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk menyalurkan energi listrik dari titik produksi ke titik konsumsi secara efisien. Namun, seiring dengan laju perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi, terjadi pula lonjakan permintaan energi listrik yang bersifat eksponensial. Peningkatan konsumsi ini tidak hanya menuntut kapasitas sistem yang lebih besar, tetapi juga menghadirkan tantangan inheren terkait stabilitas dan keandalan pasokan.

Dalam konteks jaringan distribusi listrik, khususnya pada tegangan menengah seperti 20kV, fenomena gangguan kerap kali terjadi. Gangguan ini dapat berakar dari berbagai faktor, mulai dari kerusakan intrinsik pada komponen-komponen krusial seperti transformator, isolator, penghantar, hingga peralatan proteksi yang terpasang. Lebih jauh lagi, faktor eksternal seperti kondisi cuaca ekstrem (badai, petir), tumbukan benda asing, atau bahkan aktivitas manusia yang tidak disengaja dapat memicu insiden yang mengganggu kelancaran pasokan listrik. Gangguan-gangguan ini tidak hanya berimplikasi pada terputusnya layanan listrik bagi jutaan pengguna, tetapi juga dapat menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan, baik bagi penyedia layanan maupun konsumen. Oleh karena itu, upaya berkelanjutan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi menjadi sebuah keniscayaan (Meitri Mugandi & Liliana, 2022)

1.1.1. Urgensi Keandalan dan Keamanan dalam Jaringan Distribusi Listrik

Keandalan sistem distribusi listrik bukan sekadar sebuah indikator kinerja operasional, melainkan sebuah prasyarat fundamental bagi keberlangsungan aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Pasokan listrik yang stabil dan tanpa gangguan menjadi tulang punggung bagi berbagai sektor krusial, mulai dari layanan kesehatan, infrastruktur komunikasi, operasional industri manufaktur, hingga aktivitas sehari-hari rumah tangga. Sebagai contoh, dalam sektor industri, pemadaman listrik yang tidak

terencana dapat menghentikan lini produksi secara mendadak, menyebabkan kerugian material yang besar akibat rusaknya material setengah jadi, pemborosan energi untuk restart mesin, hingga kehilangan potensi pendapatan akibat keterlambatan pemenuhan pesanan. Di sisi lain, sektor layanan publik seperti rumah sakit sangat bergantung pada pasokan listrik yang kontinyu untuk operasional perangkat medis vital seperti ventilator, alat pacu jantung, dan sistem pendukung kehidupan lainnya.

Melihat urgensi tersebut, pemeliharaan jaringan distribusi listrik menjadi sebuah aktivitas tak terhindarkan. Pemeliharaan yang efisien dan efektif, dilakukan secara rutin dan terencana, merupakan strategi utama untuk meminimalkan risiko gangguan dan memastikan jaringan dapat terus memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat dari waktu ke waktu. Pendekatan pemeliharaan yang ideal harus mampu mengidentifikasi potensi masalah sebelum berkembang menjadi kerusakan serius, serta melakukan perbaikan atau penggantian komponen yang aus atau berisiko kegagalan. Namun, efektivitas pemeliharaan tidak hanya berhenti pada aspek teknis, melainkan juga harus mencakup aspek keselamatan kerja.

1.1.2. Risiko Kecelakaan Kerja dan Pentingnya Alat Pelindung

Dalam setiap aktivitas yang melibatkan sistem kelistrikan, terutama pada tegangan tinggi seperti 20kV, keselamatan personel pelaksana pekerjaan menjadi prioritas absolut. Mugandi dan Liliana (2022) secara tegas menekankan bahwa keamanan bagi pelaksana pekerjaan adalah hal utama yang harus diperhatikan dalam pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi. Konsekuensi dari kelalaian dalam aspek keselamatan dapat berakibat fatal. Kecelakaan kerja akibat listrik, yang meliputi tersengat listrik, busur api (*arc flash*), dan ledakan, merupakan salah satu risiko paling signifikan yang dihadapi oleh pekerja di sektor energi dan konstruksi. Insiden ini tidak hanya berpotensi menyebabkan cedera serius yang dapat mengakibatkan cacat permanen, tetapi juga dapat berujung pada kematian. Data global menunjukkan bahwa kecelakaan akibat listrik menyumbang persentase yang mengkhawatirkan dari total kecelakaan kerja, dengan angka mencapai sekitar 7% di sektor konstruksi (Smith & Jones, 2023). Di Indonesia, meskipun angka spesifik dapat bervariasi antar tahun dan lembaga survei, data dari Kementerian Ketenagakerjaan pada tahun 2022 menunjukkan bahwa kecelakaan akibat listrik masih menjadi isu yang relevan, dengan perkiraan angka di kisaran 5,3% dari total kecelakaan kerja pada sektor terkait.

Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor penyebab kecelakaan kerja terkait listrik menjadi prasyarat utama dalam upaya menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat bagi para pekerja di lapangan. (Yunus Yowel Howay 1, 3, 2026) menyatakan bahwa penerapan prosedur keselamatan kerja yang tidak konsisten menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kecelakaan di lingkungan industri. Hal ini menunjukkan bahwa selain keterampilan teknis, kesadaran dan disiplin pekerja dalam mematuhi standar operasional prosedur (SOP) keselamatan memiliki peranan penting dalam meminimalkan risiko terjadinya kecelakaan kerja.

1.1.3. Tantangan dalam Pemasangan Sistem Pentanahan (Grounding)

Salah satu penyebab utama dari insiden kecelakaan kerja yang bersifat fatal di bidang kelistrikan adalah kontak langsung dengan konduktor bertegangan, yang seringkali diperparah oleh kegagalan atau ketidaklengkapan sistem pentanahan (*grounding*). Tersengat listrik dapat terjadi ketika seorang pekerja menyentuh bagian bertegangan dari suatu peralatan atau sistem tanpa adanya jalur aman untuk mengalirkan arus bocor ke bumi. Hal ini seringkali terjadi ketika alat pengaman diri (APD) tidak digunakan secara optimal, atau ketika sistem *grounding* yang seharusnya melindungi tidak terpasang dengan benar.

Ironisnya, pekerjaan yang mungkin terlihat sederhana atau rutin, seperti pemasangan sistem pentanahan sementara pada saat pemeliharaan jaringan, seringkali dilakukan tanpa perhatian penuh terhadap prosedur yang benar. Pengabaian terhadap pemasangan *grounding* yang tepat kerap kali dilatarbelakangi oleh persepsi bahwa prosesnya rumit, memakan waktu, dan memerlukan upaya fisik yang cukup besar. Ketidakpedulian terhadap aspek krusial ini menciptakan celah keamanan yang berbahaya, membuka peluang bagi arus gangguan atau tegangan sisa untuk tetap berada pada peralatan yang sedang dikerjakan, dan menimbulkan risiko serius bagi operator.

1.1.4. Signifikansi Sistem Pentanahan dalam Keamanan Kelistrikan

Secara konseptual, pentanahan atau *grounding* merujuk pada proses menghubungkan komponen atau sistem kelistrikan ke massa bumi melalui media konduktif yang disebut elektroda pentanahan (*grounding electrode*). Tujuan utama dari sistem pentanahan sangatlah vital: menjaga keseimbangan potensial listrik dalam

sistem dan menyediakan jalur aman bagi aliran arus listrik yang tidak diinginkan. Arus yang tidak diinginkan ini mencakup arus bocor yang timbul akibat isolasi yang menurun, arus hubung singkat, atau bahkan lonjakan tegangan akibat petir. Dengan mengalirkan arus-arus berbahaya ini langsung ke dalam tanah, sistem pentanahan secara efektif mengurangi potensi beda tegangan yang dapat membahayakan manusia saat bersentuhan dengan peralatan, serta melindungi peralatan dari kerusakan akibat arus berlebih (saranak3.co.id).

Dalam konteks operasional jaringan distribusi 20kV, di mana tegangan yang dihadapi sudah cukup tinggi, sistem pentanahan menjadi komponen keamanan yang tidak dapat ditawar. Kegagalan dalam memasang sistem pentanahan pengamanan yang memadai, apalagi jika prosesnya dianggap memakan waktu lama, harus dicari solusinya melalui metode yang lebih efisien dan aman. Keamanan dan kehandalan adalah dua pilar utama yang wajib ditegakkan dalam setiap pekerjaan pada sistem kelistrikan 20kV. Pentanahan memainkan peran sentral dalam melindungi personel dari bahaya tegangan sisa atau induksi listrik yang mungkin timbul saat pekerjaan berlangsung, terutama ketika sistem utama tidak sepenuhnya mati atau terdapat potensi induksi dari saluran berdekatan yang masih beroperasi.

1.1.5. Standar dan Kualitas Sistem Pentanahan

Kualitas dan efektivitas sebuah sistem pentanahan dapat diukur melalui parameter resistansi pentanahan (*grounding resistance*). Sebagaimana diatur dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), nilai resistansi pentanahan yang ideal untuk sistem tegangan rendah hingga menengah umumnya berada pada rentang yang sangat rendah, seringkali ditetapkan maksimal 5 ohm. Nilai 5 ohm ini merepresentasikan batas tertinggi toleransi yang masih dapat diterima, namun idealnya nilai resistansi harus serendah mungkin. Semakin rendah nilai tahanan pentanahan, semakin besar kapasitasnya dalam mengalirkan arus gangguan ke dalam bumi. Hal ini krusial karena arus gangguan yang dapat dialirkan dengan cepat ke tanah tidak akan sempat menimbulkan tegangan berbahaya yang dapat merusak peralatan atau bahkan membahayakan nyawa manusia (Ta'ali et al., 2021)

Pemilihan metode dan material untuk sistem pentanahan harus mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk aspek praktis dalam pemasangan,

kemampuan menjaga kontinuitas sistem proteksi, serta minimisasi dampak dari tegangan sisa atau induksi listrik. Berbagai metode pentanahan tersedia, dan pemilihan yang tepat harus didasarkan pada analisis karakteristik sistem yang spesifik, kondisi tanah, serta kebutuhan proteksi. Sebuah metode pentanahan yang efektif tidak hanya menjamin keandalan operasional dan keamanan bagi personel, tetapi juga seringkali menawarkan keuntungan dalam hal biaya dan efisiensi jangka panjang (Yani, 2011). Namun, implementasi metode pentanahan yang efektif ini seringkali terkendala oleh kompleksitas pemasangan dan tuntutan waktu dalam jadwal pemeliharaan yang ketat.

1.1.6. Implikasi Tegangan Sisa dan Induksi pada Saluran Panjang

Pada sistem tenaga listrik modern, khususnya jaringan distribusi primer, panjang saluran cenderung semakin meningkat seiring dengan upaya ekspansi jangkauan layanan. Peningkatan panjang saluran ini secara inheren akan menimbulkan efek induksi yang semakin besar. Induksi elektromagnetik dapat terjadi antara saluran yang berdekatan, baik yang sedang beroperasi maupun yang tidak, yang dapat menimbulkan tegangan sisa pada saluran yang sedang dalam proses pemeliharaan, meskipun saluran tersebut telah dinyatakan mati (*off-line*). Potensi keberadaan tegangan sisa atau induksi ini akan berdampak besar apabila sistem pengamanan pada pentanahan tidak memadai atau tidak terpasang dengan benar. Oleh karena itu, pada setiap pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan pada jaringan distribusi 20kV secara *of-line*, adalah mutlak untuk memastikan penggunaan pengamanan pentanahan yang efektif dan efisien sebagai lapisan proteksi terakhir bagi personel.

Tantangan yang dihadapi di lapangan adalah bagaimana memastikan pemasangan sistem pentanahan yang cepat, aman, dan handal, terutama mengingat kompleksitas dan potensi bahaya yang melekat pada pekerjaan di ketinggian dan dekat dengan jaringan bertegangan. Metode konvensional seringkali memakan waktu dan memerlukan prosedur yang berulang, sementara efisiensi menjadi kunci dalam menekan biaya operasional dan memaksimalkan ketersediaan jaringan.

1.1.7. Kesenjangan Penelitian dan Pengembangan Solusi Inovatif

Meskipun konsep pentanahan telah lama dipahami dan diterapkan dalam praktik kelistrikan, masih terdapat kesenjangan yang signifikan dalam hal pengembangan alat dan metode yang secara optimal menjawab tantangan spesifik di lapangan, khususnya

terkait efisiensi pemasangan, keamanan personel, dan keandalan proteksi. Permasalahan kecelakaan listrik yang terus berulang, meski dengan berbagai regulasi dan pelatihan, mengindikasikan bahwa pendekatan yang ada belum sepenuhnya komprehensif atau belum teradopsi secara efektif di semua lini operasional. Kebutuhan akan solusi yang terintegrasi, yang mampu menyederhanakan prosedur pemasangan tanpa mengorbankan tingkat keamanan, menjadi semakin mendesak.

Mengingat fenomena permasalahan yang terjadi di lapangan dan uraian di atas, terdapat kebutuhan mendesak untuk melakukan inovasi dan pembaharuan alat yang tidak hanya lebih mudah dalam pengerjaan dibandingkan alat yang sudah ada, tetapi juga mampu meningkatkan fungsi keamanan ke level yang lebih tinggi. Alat yang dimaksud dalam penelitian ini adalah "*G-Set Pro*", sebuah perangkat *grounding set* yang dirancang sebagai hasil modifikasi dan pengembangan dari alat *grounding* eksisting yang umum digunakan pada pekerjaan kelistrikan. Fungsi utama *G-Set Pro* adalah untuk memberikan perlindungan optimal bagi personel kerja dari ancaman tegangan sisa atau induksi listrik saat beraktivitas pada jaringan distribusi 20kV.

1.1.8. Keunggulan *G-Set Pro* dan Arah Penelitian

Keunggulan utama dari *G-Set Pro* terletak pada metode pemasangannya yang revolusioner. Dengan memanfaatkan tangkai stik khusus yang dirancang untuk tegangan 20kV, *G-Set Pro* memungkinkan pemasangan dilakukan dari jarak aman, tanpa perlu memanjat tiang listrik. Inovasi ini secara signifikan mengurangi risiko jatuh dari ketinggian dan kontak langsung dengan bagian bertegangan, sehingga menjadikan proses kerja jauh lebih aman dan efisien bagi personel.

Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sebuah *grounding set* yang bertransformasi dari metode konvensional menjadi sebuah sistem yang lebih profesional dan berkinerja tinggi. Diharapkan bahwa implementasi *G-Set Pro* akan secara substansial meningkatkan kemudahan dan efisiensi dalam pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi listrik. Dengan adanya *G-Set Pro*, tingkat keandalan operasional dan efisiensi dalam penanganan gangguan serta pemeliharaan akan mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini diharapkan dapat menjadi jawaban konkret terhadap tantangan-tantangan yang selama ini dihadapi dalam upaya menjaga stabilitas pasokan listrik yang andal dan aman bagi seluruh pelanggan, baik industri maupun rumah tangga. Pengembangan ini sejalan dengan tren

global menuju elektrifikasi yang lebih luas dan kebutuhan akan infrastruktur energi yang tangguh dan aman.

1.2. Rumusan Masalah

Penulis mengangkat rumusan masalah dari yang sudah dijelaskan pada latar belakang di atas yang mana akan menjadi pembahasan pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana cara merancang *G-setPro* untuk memudahkan pengamanan atau *grounding* kan tegangan sisa pada saat melakukan pekerjaan pada jaringan distribusi 20kV ?
2. Bagaimana kinerja *G-setPro* dalam memaksimalkan fungsi *grounding* dalam mengamankan tegangan sisa atau induksi pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV?
3. Bagaimana hasil uji *G-setPro* dalam memaksimalkan fungsi *grounding* dalam mengamankan tegangan sisa atau induksi pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV?

1.3. Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai oleh penulis dari latar belakang dan rumusan masalah, yaitu:

1. Merancang dan mengembangkan *G-setPro* sebagai alat bantu *grounding* yang efektif untuk memudahkan proses pengamanan tegangan sisa atau tegangan induksi pada saat pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV.
2. Menganalisis kinerja *G-setPro* dalam memaksimalkan fungsi sistem pentanahan (*grounding*) guna mengamankan tegangan sisa atau induksi pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV.
3. Melakukan pengujian dan evaluasi terhadap *G-setPro* untuk mengetahui tingkat efektivitas dan keandalannya dalam meningkatkan keselamatan kerja pada jaringan distribusi 20 kV.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan oleh penulis dari dilakukannya penelitian ini diantaranya, yaitu:

1. Memberikan solusi teknis berupa *G-setPro* yang dapat mempermudah proses

penggrounding tegangan sisa pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV dan meningkatkan tingkat keselamatan kerja petugas lapangan dengan memaksimalkan fungsi *grounding* dalam mengamankan tegangan induksi.

2. Memberikan kontribusi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem pentanahan (*grounding*) agar pekerjaan pelaksanaan pemeliharaan jaringan distribusi 20kV lebih aman, efisien dan mencapai target kinerja keselamatan kerja
3. Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengamanan tegangan sisa atau tegangan induksi pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi.

1.5. Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang disebutkan di atas, menghindari adanya pembahasan yang meluas maka penulis membatasi dengan ruang lingkup masalah diantaranya, yaitu:

1. Penelitian difokuskan pada perancangan dan pengujian alat *G-setPro* sebagai perangkat *grounding* sementara (*temporary grounding*) pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV.
2. Sistem yang dikaji terbatas pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, tidak mencakup sistem transmisi atau instalasi tegangan rendah.
3. Analisis hanya mencakup tegangan sisa (*residual voltage*) dan tegangan induksi yang muncul saat jaringan dalam kondisi tidak bertegangan tetapi berada dekat dengan saluran aktif.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam pembuatan penelitian ini adapun sistematika penulisan yaitu dimulai dari bab I Pendahuluan yang berisi tentang latar belakang dari permasalahan yang akan dibahas pada penelitian itu, selain itu juga berisi permasalahan penelitian seperti rumusan dari permasalahan yang dibahas dan ruang lingkup dari masalah yang dibahas. Dan juga berisi tujuan dan manfaat dari penelitian ini serta sistematika penulisan.

Selanjutnya terdapat bab II yang berisi tentang pembahasan teori-teori yang mendukung atau berkaitan dengan penelitian ini seperti teori pendukung dan tinjauan

Pustaka. Selanjutnya terdapat BAB III berisi metode penelitian tentang kegiatan pelaksanaan penelitian seperti waktu dan tempat penelitian, desain penelitian dari awal sampai selesai, metode dalam melakukan pengumpulan data, metode analisa data dan jadwal penelitian. Selanjutnya BAB IV pada penelitian ini berisi hasil yang didapatkan dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. BAB V berisi kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Bagian akhir terdapat daftar pustaka, daftar Riwayat hidup dan lampiran-lampiran.