

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Relevan

Dalam penelitian ini, penulis melakukan tinjauan pustaka yang mencakup beberapa referensi dan penelitian terkait yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Berikut beberapa penelitian yang berkaitan dengan pemasangan Protektor Slavee untuk mengurangi gangguan akibat binatang.

Pada tahun 2025, Prasetyo dan Dwijayanti (2025) melakukan penelitian berjudul **"Analisis Penurunan Gangguan Akibat Hewan pada Saluran Transmisi UPT Palembang Menggunakan Topskor"** yang terbit di Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya, Volume 6, Nomor 2, Mei 2025, halaman 85–92. Penelitian ini membahas usaha untuk mengurangi gangguan listrik yang disebabkan oleh hewan, terutama burung, pada jaringan transmisi. Solusi yang digunakan adalah pemasangan perisai isolator berupa alat bernama Topskor. Fungsi dari Topskor adalah mencegah kotoran burung menempel pada isolator yang bisa menyebabkan arus bocor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pemasangan Topskor di beberapa gardu induk UPT Palembang, jumlah gangguan akibat hewan menurun drastis, dari sekitar 13–14 kali menjadi hanya 1 kali dalam setiap periode. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa pemasangan Topskor sangat efektif untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi. Penulis merekomendasikan pemasangan Topskor ini untuk diterapkan secara lebih luas dengan dilakukan pemeliharaan secara berkala agar tetap berfungsi dengan baik.

Selanjutnya, Bahri (2025) melakukan penelitian berjudul **"Sistem Monitoring Proteksi Gangguan Hewan pada Gardu Transformator"** yang terbit di Jurnal Science Electro (Jurnal Teknik Elektro), Volume 18, Nomor 1, tahun 2025. Penelitian ini membahas masalah serius yang timbul akibat gangguan hewan, terutama burung, pada gardu transformator. Gangguan ini bisa menyebabkan pemadaman listrik yang luas, kerugian biaya, dan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe Sistem Monitoring Proteksi Gangguan Hewan. Sistem ini memanfaatkan teknologi deteksi objek menggunakan kamera Huskylens dan mikrokontroler ESP32. Sistem ini dikembangkan untuk mendeteksi dan mengenali

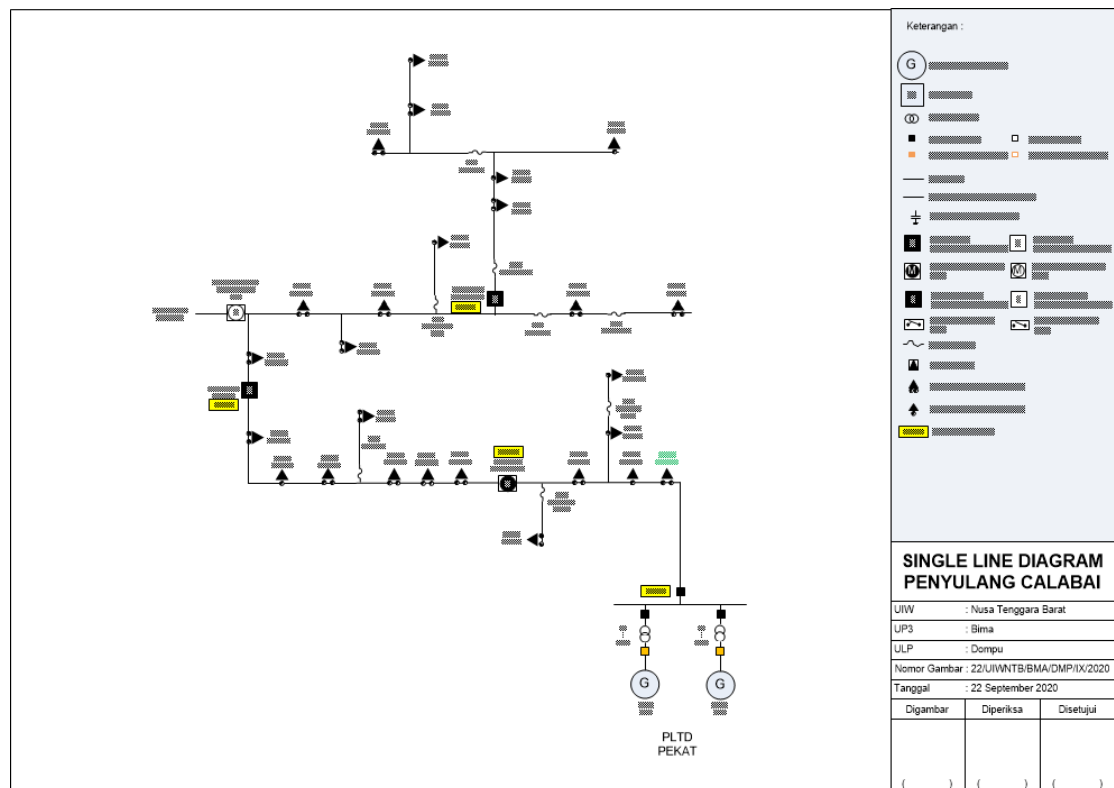
berbagai jenis hewan (seperti burung, tupai, dll.) yang bisa menyebabkan gangguan pada perangkat gardu secara real-time. Dengan adanya sistem deteksi cerdas ini, diharapkan dapat memberikan notifikasi dan memudahkan operator dalam memantau serta mengambil tindakan pencegahan untuk menjaga keandalan operasional gardu transformator.

Napitupulu (2024) melakukan penelitian dengan judul “**Studi Pemeliharaan dan Pengoperasian pada Gardu Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Gunungsitoli**”. Artikel ini terbit dalam Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro, volume 13, nomor 1, halaman 1–9. Penelitian ini fokus pada analisis proses pemeliharaan dan pengoperasian standar di Gardu Distribusi di wilayah kerja PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Gunungsitoli. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengoptimalkan prosedur pemeliharaan dan pengoperasian gardu distribusi, termasuk memahami cara kerja setiap komponen, meningkatkan kesadaran akan keselamatan kerja, serta mengidentifikasi dan memperkenalkan penggunaan teknologi serta inovasi terbaru yang dapat diaplikasikan dalam proses pemeliharaan. Hasil dari analisis penelitian ini merekomendasikan pentingnya menyusun jadwal pemeliharaan yang detail untuk setiap titik gardu distribusi, serta menekankan bahwa pemeliharaan berbasis teknologi harus selalu mengikuti standar dan aturan yang berlaku, terutama melalui inspeksi berkala sepanjang jalur kelistrikan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen akhir. Sistem ini harus memiliki keandalan yang tinggi agar kontinuitas penyaluran listrik dapat terjamin. Komponen utama jaringan distribusi meliputi penyulang, transformator distribusi, saluran udara tegangan menengah (SUTM), saluran udara tegangan rendah (SUTR), serta peralatan proteksi seperti pemutus beban, *fuse cut out* (FCO), dan *arrester*. Keandalan sistem distribusi sangat bergantung pada kondisi jaringan dan efektivitas sistem proteksi yang digunakan untuk mencegah gangguan baik teknis maupun non-teknis.



Gambar 2.1 Konfigurasi Jaringan Penyulang Calabai

V). Menurut Pabla (2012), konfigurasi jaringan distribusi dapat berbentuk radial, loop (cincin), atau jaringan (network), dan pemilihan konfigurasi ini dipengaruhi oleh kebutuhan keandalan, efisiensi, serta biaya investasi.

Selain itu, keandalan dan kualitas daya dalam sistem distribusi menjadi aspek penting yang mempengaruhi kepuasan pelanggan. Menurut Kusumadewi dan Santoso (2019), indeks keandalan seperti SAIDI dan SAIFI digunakan untuk menilai kinerja sistem distribusi dalam menyediakan suplai listrik yang andal. Dengan berkembangnya teknologi, sistem distribusi kini mulai bertransformasi menuju *smart distribution system*, yaitu sistem yang terintegrasi dengan teknologi digital untuk memantau, mengendalikan, dan mengoptimalkan penyaluran energi listrik secara real-time.

2.2.2 Jenis-Jenis Gangguan pada Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu gangguan teknis dan gangguan non-teknis. Gangguan teknis meliputi gangguan hubung singkat, arus lebih, tegangan lebih, dan kerusakan peralatan akibat faktor cuaca atau usia pakai. Sedangkan gangguan non-teknis disebabkan oleh faktor eksternal seperti pohon tumbang, aktivitas manusia, serta gangguan akibat binatang (kelelawar, kucing, burung, dan sebagainya) yang bersentuhan dengan bagian bertegangan.

Menurut penelitian Rahman, R. A., dkk. (2023), gangguan akibat binatang merupakan salah satu penyebab yang paling sering mengakibatkan terjadinya pemadaman pada jaringan distribusi tegangan menengah, terutama di daerah dengan kepadatan vegetasi dan aktivitas binatang yang tinggi. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa pemasangan Protektor Slavee atau pelindung isolator dapat menurunkan frekuensi gangguan hingga 60% dibandingkan dengan jaringan tanpa perlindungan tambahan. Hal ini semakin memperkuat bahwa pengendalian gangguan akibat binatang memiliki peran penting dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Gangguan akibat binatang sering menyebabkan arus hubung singkat yang memicu pengaman bekerja dan memutus suplai listrik, sehingga berdampak pada meningkatnya nilai SAIDI dan SAIFI sebagai indikator menurunnya keandalan sistem distribusi.

2.2.3 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan kemampuan sebuah sistem untuk menyalurkan energi listrik secara berkesinambungan kepada konsumen dengan efektif dan pelayanan yang berkelanjutan. Menurut *IEEE Standard 1366-2012*, keandalan didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghindari gangguan dan mengurangi durasi serta frekuensi pemadaman yang dialami pelanggan. Sistem distribusi dianggap andal apabila mampu mempertahankan pasokan listrik tanpa gangguan yang dihadapi, dengan memperhatikan faktor teknis seperti proteksi, pemeliharaan, serta desain jaringan.

Selain itu, tingkat keandalan sistem distribusi juga sangat dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan, sistem proteksi, serta strategi operasi dan pemeliharaan (O&M). Sistem distribusi dengan konfigurasi *loop* atau *networked* memiliki keandalan yang lebih tinggi dibandingkan sistem *radial* karena mampu menyediakan jalur alternatif penyaluran daya ketika terjadi gangguan. Menurut Roy dan Pahwa (2016), penerapan teknologi seperti *recloser*, *sectionalizer*, dan *distribution automation system (DAS)* mampu mempercepat proses isolasi dan restorasi gangguan, sehingga menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara signifikan. Selanjutnya, penelitian oleh Hossain dan Mahmud (2020) menegaskan bahwa pengintegrasian *smart grid* dengan pemantauan berbasis sensor dan sistem kendali otomatis memberikan peningkatan keandalan yang substansial, terutama di wilayah dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi. Dengan demikian, pendekatan terkini yang memadukan teknologi digital, konfigurasi jaringan adaptif, dan sistem pemeliharaan berbasis data menjadi yang utama dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik di era transformasi energi saat ini.

Untuk mengukur keandalan sistem distribusi tenaga listrik digunakan dua parameter utama SAIDI menunjukkan rata-rata durasi gangguan yang dialami pelanggan dalam satu periode waktu.

$$SAIDI = \frac{N_{total} \sum (U_i \times N_i)}{N_{total}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

- U_i = durasi gangguan pada i (menit/jam)
- N_i = jumlah pelanggan terdampak gangguan ke- i
- N_{total} = total pelanggan yang dilayani

SAIFI Menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan yang dialami pelanggan dalam satu periode waktu.

Rumus :
$$SAIFI = \frac{\sum (N_i)}{N_{total}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana

- N_i = jumlah pelanggan terdampak pada gangguan ke- i
- N_{total} = total pelanggan yang dilayani

Nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi menandakan rendahnya tingkat keandalan sistem distribusi. Oleh karena itu, diperlukan langkah mitigasi yang efektif untuk menekan kedua nilai tersebut.

Menurut penelitian Wahyudi dan Prasetya (2024), analisis SAIDI dan SAIFI merupakan metode yang paling sering digunakan untuk menilai keandalan sistem distribusi karena kedua parameter tersebut memperlihatkan kualitas pelayanan energi listrik kepada pelanggan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem proteksi tambahan seperti *animal guard* dan *insulator sleeve* mampu menurunkan nilai SAIDI hingga 35% dan SAIFI sebesar 28% pada jaringan distribusi tegangan menengah.

Sementara itu, studi yang dilakukan oleh Rahman dan Hidayat (2023), menegaskan bahwa peningkatan keandalan sistem distribusi tidak hanya bergantung pada desain jaringan, tetapi juga pada strategi pemeliharaan dan pencegahan gangguan eksternal seperti binatang dan cuaca. Penerapan sistem pemantauan gangguan berbasis data SAIDI dan SAIFI terbukti membantu PLN dalam menentukan prioritas perbaikan jaringan dan mempercepat proses pemulihan gangguan di lapangan.

2.2.4 Protektor Slavee

Protektor Slavee merupakan alat pelindung berbahan isolator elastis tahan panas yang dipasang pada bagian bertegangan seperti bushing transformator, terminal, dan sambungan penghantar guna mencegah kontak langsung antara hewan dan konduktor listrik. Fungsi utamanya adalah menghambat hewan seperti ular, burung, atau kelelawar agar tidak menyentuh bagian konduktor, mengurangi risiko hubung singkat akibat interaksi fauna dengan peralatan listrik, serta melindungi aset distribusi dari kerusakan akibat arus gangguan.



Gambar 2.4 *Protektor Slavee*

Menurut Hendrawan dan Setiawan (2023), penerapan protektor berbahan polimer elastis pada jaringan tegangan menengah terbukti efektif menurunkan frekuensi gangguan akibat hewan hingga 60% dibandingkan dengan kondisi sebelum pemasangan. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa material isolator berbasis silikon memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap panas dan sinar ultraviolet dibandingkan bahan tradisional seperti ijuk atau plastik konvensional.

Selain itu, Pramono dan Lestari (2024) melaporkan bahwa penggunaan *Protektor Slavee* di beberapa Unit Layanan Pelanggan (ULP) PLN di wilayah Nusa Tenggara Barat mampu menekan nilai SAIFI hingga 25% dalam enam bulan pengamatan. Studi ini juga menjelaskan bahwa protektor jenis ini lebih mudah dipasang, tidak memerlukan perawatan rutin, serta memberikan perlindungan efektif terhadap gangguan yang disebabkan oleh binatang melata dan unggas di sekitar jaringan distribusi.

Dengan keunggulan tersebut, penggunaan *Protektor Slavee* dinilai lebih efisien dan andal dibandingkan metode konvensional seperti pemasangan ijuk atau pipa pelindung sederhana, terutama pada daerah dengan tingkat populasi hewan tinggi dan kondisi cuaca ekstrem.

2.2.5 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Pemeliharaan jaringan distribusi listrik adalah kegiatan yang bertujuan untuk menjaga agar pasokan listrik terus berjalan dengan baik dan stabil bagi para pelanggan. Jaringan distribusi ini terdiri dari berbagai komponen seperti kabel, tiang, transformator,

isolator, serta peralatan pelindung yang beroperasi di lingkungan yang beragam. Menurut Pabla (2012), pemeliharaan yang direncanakan secara teratur bisa mencegah terjadinya gangguan, memperpanjang masa pakai peralatan, serta mengurangi frekuensi pemadaman listrik. Dengan meningkatnya permintaan energi dan harapan pelanggan terhadap kualitas listrik yang baik, pemeliharaan menjadi bagian penting dalam pengelolaan sistem distribusi oleh penyedia listrik.

Secara umum, pemeliharaan jaringan distribusi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu pemeliharaan preventif, prediktif, dan korektif. Pemeliharaan preventif dilakukan secara rutin untuk mencegah terjadinya gangguan, seperti pemeriksaan secara visual, membersihkan isolator, dan mengencangkan kabel serta sambungan. Pemeliharaan prediktif dilakukan berdasarkan hasil pemantauan kondisi peralatan menggunakan alat seperti thermal imaging, pengujian discharge parsial, maupun analisis getaran untuk memperkirakan kemungkinan kerusakan sebelum terjadi kegagalan. Sementara itu, pemeliharaan korektif dilakukan setelah gangguan terjadi, dengan tujuan memulihkan fungsi sistem seperti semula. Ketiga metode ini saling melengkapi agar sistem distribusi tetap andal dan aman dalam jangka panjang (Hidayat & Tjahjono, 2019).

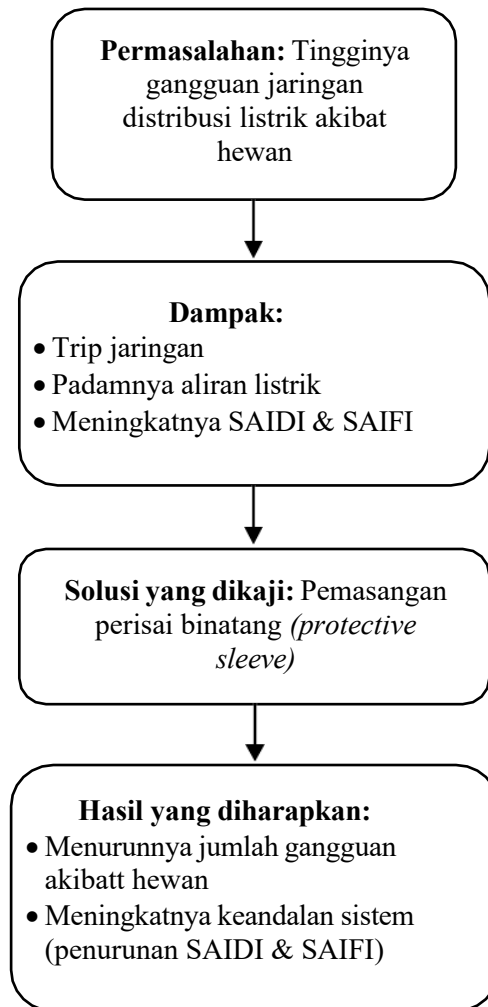
Dengan berkembangnya teknologi, sistem pemeliharaan jaringan distribusi mulai beralih ke arah pemeliharaan cerdas atau smart maintenance yang berbasis digital dan data real-time. Dengan penerapan sensor cerdas, *Internet of Things* (IoT), dan sistem otomasi distribusi (DAS), kondisi jaringan dapat dipantau terus-menerus untuk mendeteksi gangguan potensial sebelum menyebabkan pemadaman. Penelitian oleh Hossain dan Mahmud (2020) menunjukkan bahwa digitalisasi pemeliharaan dapat menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara nyata. Dengan sistem pemantauan cerdas ini, proses inspeksi dan pengambilan keputusan pemeliharaan menjadi lebih cepat, tepat, dan efisien dibandingkan metode yang biasa digunakan sebelumnya.

Salah satu komponen penting dalam mendukung pemeliharaan sistem distribusi adalah protektor slavee, yaitu alat tambahan yang dipasang di jaringan tegangan menengah untuk mengurangi dampak gangguan yang disebabkan oleh hewan atau benda asing. Fungsi protektor slavee adalah sebagai pelindung mekanis terhadap kabel dan isolator, terutama di area yang rentan terhadap gangguan hewan seperti daerah pedesaan atau sekitar hutan. Menurut Prasetyo dan Gunawan (2022), pemasangan protektor slavee

terbukti efektif untuk mengurangi jumlah gangguan pada jalur distribusi serta memperpanjang masa pakai isolator, sehingga meningkatkan kualitas pasokan listrik. Selain itu, alat ini memudahkan proses pemeliharaan karena bisa dipasang dan diganti dengan mudah tanpa perlu memadamkan seluruh jaringan. Oleh karena itu, penerapan protektor slavee menjadi langkah efektif dalam program pemeliharaan preventif di sistem distribusi listrik.

2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini berangkat dari permasalahan tingginya gangguan jaringan distribusi listrik yang disebabkan oleh hewan, seperti tupai, burung, tokek, monyet, tikus dan kelelawar, yang sering bersentuhan dengan konduktor atau peralatan bertegangan. Gangguan tersebut menyebabkan trip jaringan, padamnya aliran listrik, serta meningkatnya nilai SAIDI dan SAIFI, yang berdampak pada keandalan sistem distribusi. Kondisi ini menuntut adanya langkah preventif yang efektif dan ekonomis untuk meminimalkan potensi gangguan tanpa harus melakukan perubahan besar pada sistem eksisting.



Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran

Salah satu solusi yang dikaji dalam penelitian ini adalah pemasangan Protektor Slavee (*protective sleeve*) pada bagian konduktor dan peralatan distribusi yang rawan tersentuh hewan. Pemasangan perisai ini diharapkan mampu mengurangi kontak langsung antara hewan dan bagian bertegangan, sehingga arus gangguan dapat ditekan. Melalui pengamatan dan analisis data gangguan sebelum dan sesudah pemasangan, efektivitas Protektor Slavee dapat diukur. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pertimbangan teknis bagi pihak PLN dalam menerapkan strategi proteksi jaringan yang lebih andal dan berkelanjutan.