

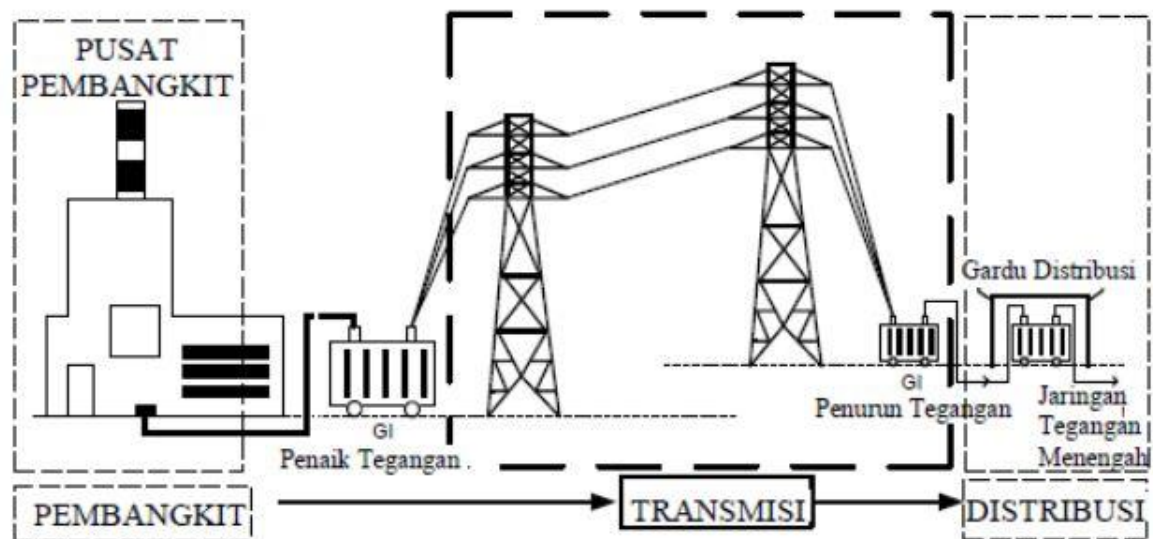
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju pusat-pusat beban. Penyaluran ini dilakukan pada jarak yang relatif jauh dengan tingkat efisiensi tinggi, sehingga rugi-rugi daya dapat diminimalkan. Agar proses penyaluran berlangsung efektif, tegangan listrik dinaikkan terlebih dahulu melalui transformator penaik tegangan (step-up transformer) untuk mengurangi arus yang mengalir pada konduktor, sehingga menekan rugi daya akibat efek resistansi pada saluran.[3]



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik Melalui Transmisi

Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri atas tiga subsistem utama, yaitu pembangkitan (generation), transmisi (transmission), dan distribusi (distribution). Pada tahap transmisi, energi listrik dialirkan melalui saluran udara atau kabel bawah tanah yang beroperasi pada tegangan menengah hingga sangat tinggi. Di Indonesia, sistem transmisi

biasanya beroperasi pada tingkat tegangan 70 kV, 150 kV, 275 kV, hingga 500 kV. Semakin tinggi tegangan operasi, semakin besar pula kapasitas daya yang dapat ditransmisikan dan semakin kecil rugi-rugi daya yang terjadi di sepanjang saluran.

Komponen utama dalam sistem transmisi meliputi konduktor, isolator, menara transmisi, serta peralatan proteksi dan pentanahan. Konduktor berfungsi sebagai penghantar arus listrik, biasanya menggunakan material aluminium berinti baja (Aluminium Conductor Steel Reinforced/ACSR) karena memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanis yang baik. Isolator digunakan untuk memisahkan konduktor dari menara transmisi dan mencegah terjadinya arus bocor ke tanah. Menara transmisi berfungsi menopang konduktor dan isolator, serta menjaga jarak aman antara konduktor dengan tanah maupun objek lain di sekitarnya.

Selain komponen utama tersebut, sistem transmisi juga dilengkapi dengan peralatan proteksi seperti arrester, pemutus tenaga (circuit breaker), dan peralatan pengaman lainnya untuk melindungi sistem dari gangguan tegangan lebih, khususnya yang disebabkan oleh sambaran petir atau gangguan hubung singkat. Gangguan tersebut dapat menurunkan keandalan sistem apabila tidak segera diatasi, karena berpotensi menyebabkan pemadaman atau kerusakan peralatan. Oleh karena itu, sistem proteksi petir dan pentanahan menjadi aspek penting dalam desain jaringan transmisi yang andal.[4]

Dalam praktiknya, keandalan sistem transmisi sangat dipengaruhi oleh desain struktur, kualitas material, sistem proteksi, serta kondisi lingkungan sekitar. Daerah dengan curah petir tinggi, misalnya, memerlukan sistem proteksi yang lebih kompleks untuk mencegah terjadinya gangguan akibat sambaran langsung maupun tidak langsung. Melalui penerapan metode proteksi yang tepat dan sistem pentanahan yang efektif, kontinuitas penyaluran energi listrik dapat terjaga dan risiko gangguan pada jaringan transmisi dapat diminimalkan.

2.1.2 Sistem Proteksi Transmisi

Sistem transmisi tenaga listrik memiliki fungsi vital dalam menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju pusat beban dengan kontinuitas dan keandalan yang tinggi. Dalam praktiknya, jaringan transmisi sering terpapar berbagai potensi gangguan, baik yang bersifat internal maupun eksternal. Gangguan internal biasanya disebabkan oleh kerusakan peralatan, ketidakseimbangan beban, atau gangguan hubung singkat. Sementara itu, gangguan eksternal dapat berasal dari kondisi alam seperti petir, angin kencang, hujan deras, serta aktivitas hewan yang bersentuhan dengan bagian konduktif saluran transmisi. [5]

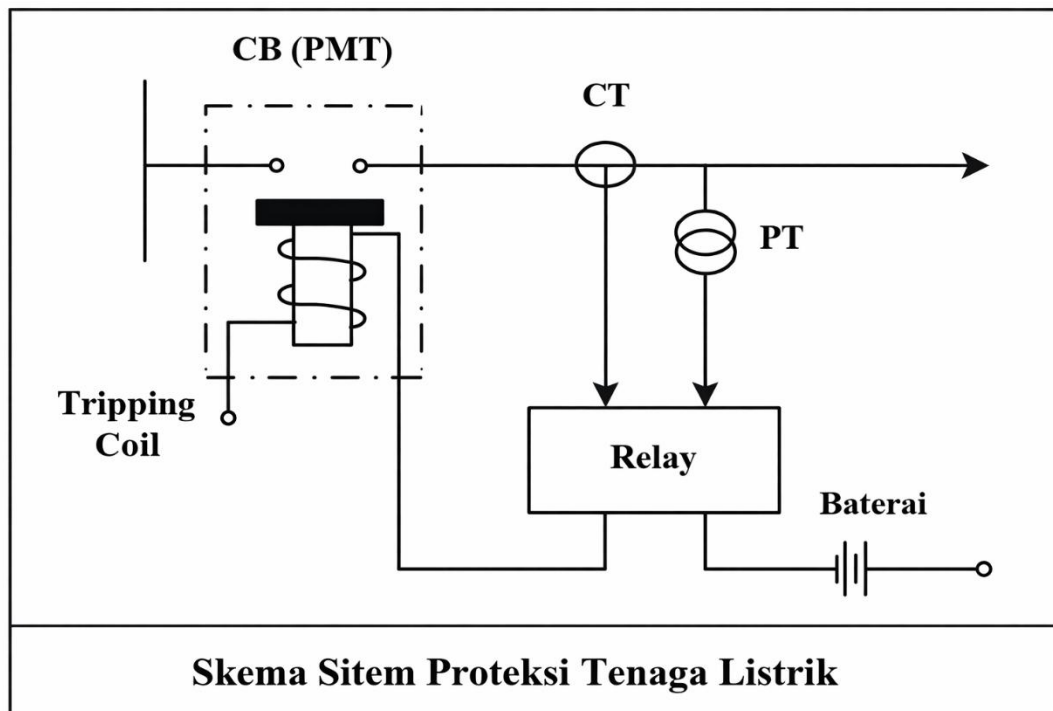
Sistem proteksi jaringan transmisi dirancang untuk mendeteksi, menahan, dan mengisolasi gangguan agar tidak merusak komponen utama serta menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan. Secara umum, sistem proteksi ini dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu proteksi elektrik dan proteksi mekanik. Proteksi elektrik meliputi penggunaan pemutus tenaga (circuit breaker), relai proteksi, arrester, dan transformator arus serta tegangan. Komponen-komponen tersebut bekerja secara otomatis mendeteksi lonjakan arus atau tegangan yang tidak normal, lalu memutus aliran listrik untuk mencegah kerusakan yang lebih luas. [6]

Sementara itu, proteksi mekanik berfungsi sebagai perlindungan fisik terhadap pengaruh lingkungan atau makhluk hidup di sekitar saluran transmisi. Bentuknya dapat berupa pemasangan pagar pengaman di gardu induk, pelindung konduktor dari benda jatuh, serta aksesoris isolator seperti paku anti-panjat, bird spike, dan Topskor. Proteksi mekanik menjadi penting terutama pada jaringan transmisi udara yang melintas di area hutan, perbukitan, atau pemukiman dengan populasi satwa liar tinggi. Hewan seperti burung, kelelawar, dan monyet dapat menyebabkan gangguan hubung singkat apabila tubuhnya menyentuh konduktor atau isolator dalam keadaan basah. [5]

PLN dan berbagai lembaga ketenagalistrikan menerapkan standar proteksi dengan mempertimbangkan keandalan, keselamatan kerja, dan efisiensi perawatan. Sistem proteksi yang baik harus mampu bekerja cepat dan selektif, artinya hanya bagian yang terganggu saja yang diputus tanpa memengaruhi sistem lain yang masih normal. Untuk itu, desain jaringan

transmisi dilengkapi dengan peralatan proteksi elektrik yang terkoordinasi serta perlengkapan mekanik yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan sekitar.

Dalam konteks gangguan hewan, penggunaan aksesoris mekanik seperti Topskor menjadi salah satu strategi proteksi tambahan. Alat ini dipasang pada ujung traves atau di sekitar rangkaian isolator untuk menghalangi hewan memanjat atau menjangkau konduktor. Dengan adanya perangkat tersebut, risiko gangguan eksternal dapat ditekan, kontinuitas penyaluran energi meningkat, dan biaya pemeliharaan akibat gangguan berulang dapat diminimalkan.



Gambar 2.2 Skema Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sumber: carailmu.com (diadaptasi)

Dalam jaringan transmisi bertegangan tinggi dan ekstra tinggi, sistem proteksi petir dirancang untuk meminimalkan kemungkinan gangguan sekaligus mempercepat proses pemulihan. Efektivitasnya sangat ditentukan oleh koordinasi antara sistem arrester, grounding, dan jarak antar menara. Oleh karena itu, rancangan proteksi yang baik perlu memperhatikan kondisi tanah, intensitas sambaran petir setempat, serta karakteristik jaringan transmisi yang dilindungi.

2.1.3 Proteksi Isolator Menggunakan Aksesori Topi Pelindung Isolator (Topskor)

Isolator merupakan salah satu komponen penting dalam sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk memisahkan konduktor bertegangan dari struktur menara transmisi yang terhubung ke tanah. Isolator harus mampu menahan tegangan tinggi tanpa mengalami kerusakan listrik maupun mekanik, serta berperan menjaga kestabilan jarak aman antara konduktor dan bagian logam penyangga. Kegagalan isolator, baik akibat penuaan, kontaminasi, maupun gangguan eksternal, dapat menimbulkan gangguan hubung singkat dan menyebabkan pemutusan aliran daya listrik secara tiba-tiba. [7]

Salah satu bentuk gangguan eksternal yang sering terjadi pada sistem transmisi udara adalah gangguan akibat hewan, seperti burung, ular, dan monyet. Hewan-hewan tersebut dapat menyebabkan gangguan ketika bersentuhan langsung dengan konduktor atau bagian isolator yang bertegangan. Pada kondisi tertentu, tubuh hewan dapat menjadi penghantar listrik sementara, memicu loncatan arus (*flashover*), bahkan menyebabkan kerusakan isolator dan pemadaman listrik di daerah yang terdampak. Gangguan semacam ini tidak hanya mengganggu kontinuitas penyaluran daya, tetapi juga meningkatkan biaya pemeliharaan sistem. [6]

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan berbagai aksesori pelindung isolator, seperti *paku anti-panjat*, *bird spike*, *cover isolator*, serta perangkat mekanis tambahan seperti *Topskor*. *Topskor* merupakan alat pengunci dan pelindung mekanik yang dipasang pada bagian ujung traves menara transmisi, tepat di sekitar rangkaian isolator. Alat ini umumnya terbuat dari material aluminium dengan ketebalan sekitar 1 mm dan berbentuk melingkar

menyerupai cincin dengan diameter ± 65 cm. Fungsi utamanya adalah mencegah hewan memanjat rangkaian isolator dan menghalangi akses hewan ke bagian konduktor bertegangan tinggi.

Proses pemasangan *Topskor* dilakukan dengan mengaitkan plat pengunci pada aksesoris isolator string, menggunakan mur dan baut yang dikencangkan secara bertahap. Pemasangan dilakukan oleh petugas pemeliharaan jaringan transmisi dengan prosedur kerja aman, biasanya dalam kondisi jaringan tidak bertegangan (*off-line maintenance*). Setelah terpasang, alat ini tidak memengaruhi jarak aman isolasi maupun distribusi beban mekanik pada traves, sehingga aman digunakan dalam sistem transmisi 150 kV maupun lebih tinggi.

Keunggulan penggunaan *Topskor* dibandingkan aksesoris lainnya adalah bentuknya yang menyatu dengan struktur isolator dan tidak memerlukan perawatan rutin. Selain itu, alat ini tidak menimbulkan efek induksi atau arus bocor karena terbuat dari bahan konduktor yang terhubung ke bagian logam penyangga yang sudah di-grounding. Dengan demikian, pemasangan *Topskor* menjadi solusi efektif dalam mencegah gangguan hewan, meningkatkan keandalan sistem transmisi, serta mengurangi frekuensi pemadaman akibat gangguan eksternal. [8]

Penerapan *Topskor* juga sejalan dengan kebijakan PLN dalam meningkatkan keandalan sistem transmisi melalui pendekatan proteksi ganda, yaitu proteksi elektrik dan mekanik. Dengan adanya aksesoris tambahan ini, jaringan transmisi dapat beroperasi dengan tingkat gangguan eksternal yang lebih rendah, mendukung efisiensi operasional, serta memperpanjang usia pakai komponen isolator.

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 :

1. Sepannur Bandri (2020) dalam penelitiannya berjudul “Desain Alat Pemasangan Topi Isolator Dalam Keadaan Bertegangan untuk Mengurangi Energi Tidak Tersalurkan di Feeder Pondok Pinang Rayon Tabing” membahas perancangan alat khusus untuk memasang topi isolator tanpa melakukan pemadaman jaringan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya gangguan eksternal akibat hewan seperti burung dan ular yang menyebabkan hubung singkat dan pemadaman pada saluran distribusi. Metode yang digunakan meliputi analisis konsumsi energi tidak tersalurkan serta perbandingan pekerjaan pemasangan topi isolator saat jaringan dipadamkan dan saat dilakukan secara online. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan topi isolator dengan alat bertegangan mampu menghemat energi hingga 9.592,63 kWh dan memberikan penghematan biaya mencapai Rp 13,3 juta pada satu kali pekerjaan.. Penelitian ini relevan dengan tugas akhir penulis karena sama-sama membahas efektivitas topi pelindung isolator dalam mengurangi gangguan pada jaringan, namun penelitian Bandri lebih fokus pada aspek energi dan biaya pemasangan topi isolator, bukan pada evaluasi penurunan gangguan hewan pasca pemasangan seperti pada penelitian penulis. [9]
2. Nabila Khoirunnisa, Nelli Inayah, Farid Wiherdiansyah, I Kadek Dwi Adyano, dan Didik Aribowo (2024) dalam penelitiannya berjudul “Studi Literatur tentang Jenis dan Penyebab Gangguan pada Saluran Transmisi” melakukan kajian pustaka mengenai berbagai faktor yang memengaruhi keandalan sistem transmisi tenaga listrik. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur deskriptif dengan mengumpulkan referensi dari buku, jurnal, dan laporan teknis terkait gangguan eksternal maupun internal. Hasil analisis menunjukkan bahwa gangguan eksternal yang paling sering terjadi meliputi petir, angin kencang, hujan, pencemaran lingkungan, serta aktivitas hewan yang bersentuhan dengan konduktor atau isolator. Gangguan-gangguan ini dapat

menurunkan stabilitas sistem dan memicu pemadaman luas. Peneliti juga menekankan pentingnya penerapan sistem proteksi dan pemeliharaan rutin untuk meminimalkan potensi kerusakan. Relevansi penelitian ini terhadap tugas akhir penulis terletak pada pembahasan mengenai gangguan hewan sebagai salah satu penyebab utama gangguan eksternal yang dapat diatasi dengan pemasangan aksesoris mekanik seperti Topskor pada isolator transmisi. [10]

3. Robi Prasetyo dan Suci Dwijayanti (2025) dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis Penurunan Gangguan Akibat Hewan pada Saluran Transmisi Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Palembang Menggunakan Topskor” membahas efektivitas penggunaan alat Topskor sebagai pelindung isolator terhadap gangguan hewan, khususnya burung. Penelitian ini dilakukan di empat Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) di bawah UPT Palembang, yaitu Betung, Boom Baru, Borang, dan Keramasan. Metode yang digunakan adalah analisis data gangguan penghantar tahun 2020–2025 untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah pemasangan Topskor. Hasilnya menunjukkan bahwa gangguan akibat hewan turun drastis dari 14 gangguan pada tahun 2023 menjadi hanya satu gangguan pada kuartal pertama 2025. Desain Topskor dibuat dari aluminium tebal 1,5 mm dengan diameter 65–75 cm, menyesuaikan konfigurasi single dan double suspension. Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa Topskor efektif menekan gangguan eksternal, meningkatkan keandalan sistem transmisi, dan menjaga isolator dari kontaminasi kotoran burung. Relevansi penelitian ini sangat kuat karena menjadi acuan langsung bagi penelitian penulis dalam konteks penerapan Topskor pada jaringan transmisi 150 kV di wilayah ULTG Baturaja..[8]
4. Sepannur Bandri (2020) dalam penelitiannya berjudul “Pengaruh Pemasangan Topi Isolator pada Penyulang Pondok Pinang Rayon Tabing” meneliti efektivitas topi isolator sebagai upaya pengurangan gangguan eksternal akibat hewan, khususnya burung dan ular, pada jaringan tegangan menengah. Penelitian ini dilatarbelakangi tingginya gangguan eksternal dan kebutuhan pemadaman saat pemasangan topi isolator secara manual. Metode penelitian yang digunakan meliputi analisis perbandingan pekerjaan pemasangan topi isolator dengan pemadaman dan tanpa pemadaman

menggunakan alat pasang topi isolator online. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pekerjaan tanpa pemadaman dapat menghemat energi sebesar 9.592,63 kWh selama durasi pekerjaan 6 jam, dengan potensi penghematan biaya mencapai Rp 13.324.092,07 setelah dikurangi biaya investasi alat. Penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan metode pemasangan bertegangan dapat meningkatkan efisiensi operasional sekaligus meminimalkan risiko gangguan akibat hewan pada penyulang. [11]

Tabel 2.1 Penelitian Relevan

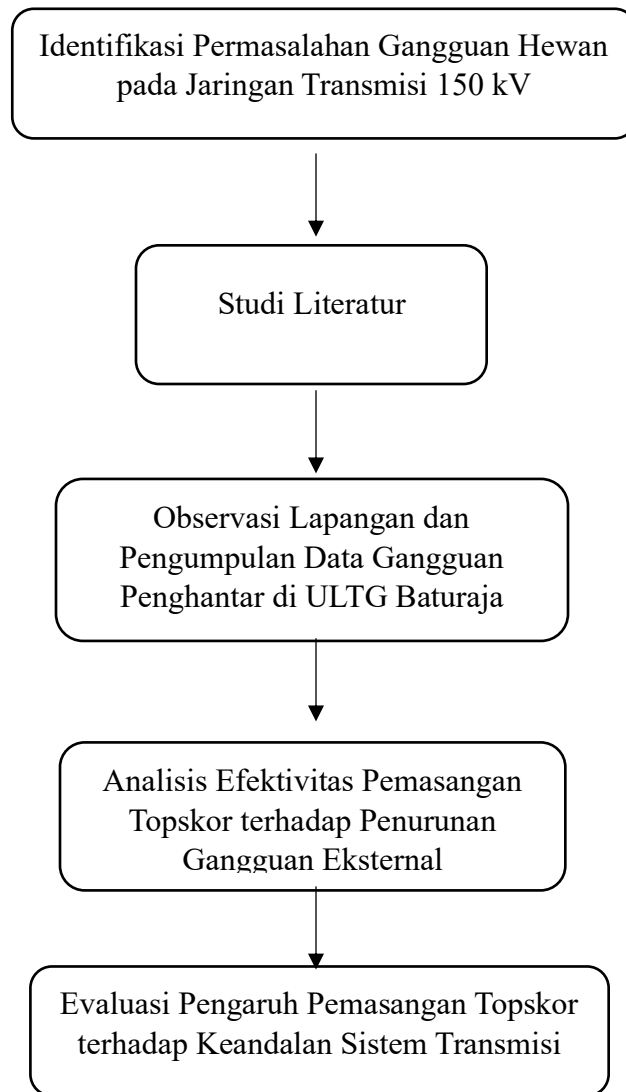
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	Desain Alat Pemasangan Topi Isolator Dalam Keadaan Bertegangan Untuk Mengurangi Energy Tidak Tersalurkan Difeeder Pondok Pinang Rayon Tabing	Tingginya gangguan eksternal akibat hewan (burung/ular) dan kerugian energi karena pemadaman saat pemasangan topi isolator.	Analisis teknis dan perhitungan energi tidak tersalurkan akibat metode pemasangan dengan dan tanpa pemadaman.	Pemasangan topi isolator secara online menghemat energi 9.592,63 kWh dan biaya Rp 13,3 juta per pekerjaan.	Penelitian fokus pada efisiensi energi dan biaya pemasangan topi isolator, belum meneliti efektivitas Topskor dalam menurunkan gangguan hewan seperti penelitian penulis.
2.	“Studi Literatur tentang Jenis	Masalah yang dibahas dalam penelitian ini	Penelitian ini menggunakan metode studi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan	Penelitian ini bersifat konseptual dan

	dan Penyebab Gangguan pada Saluran Transmisi” (Nabila Khoirunnisa, Nelli Inayah, Farid Wiherdiansyah, I Kadek Dwi Adyano, dan Didik Aribowo, 2024)	adalah belum adanya pemetaan komprehensif mengenai jenis dan penyebab gangguan yang memengaruhi keandalan sistem transmisi tenaga listrik.	literatur deskriptif, dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan laporan teknis terkait gangguan transmisi, baik internal maupun eksternal.	eksternal yang paling dominan adalah petir, angin, hujan, pencemaran, serta aktivitas hewan yang bersentuhan dengan konduktor atau isolator. Penelitian menegaskan pentingnya sistem proteksi dan pemeliharaan berkala untuk mencegah gangguan.	tidak membahas penerapan alat proteksi tertentu. Sehingga, masih terdapat celah penelitian pada aspek proteksi fisik isolator terhadap gangguan hewan, yang dalam penelitian penulis diatasi melalui pemasangan aksesoris <i>Topskor</i>.operasional, seperti suhu, dan jenis beban,
--	---	---	---	--	---

3.	“Analisis Penurunan Gangguan Akibat Hewan pada Saluran Transmisi Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Palembang Menggunakan Topskor” (Robi Prasetio dan Suci Dwijayanti, 2025)	Masalah yang diangkat adalah tingginya gangguan eksternal akibat hewan, terutama burung, yang menyebabkan gangguan hubung singkat pada jaringan transmisi di wilayah kerja UPT Palembang.	Penelitian ini menggunakan metode analisis data gangguan penghantar tahun 2020–2025, dengan membandingkan jumlah gangguan sebelum dan sesudah pemasangan <i>Topskor</i> di empat ULTG: Betung, Boom Baru, Borang, dan Keramasan.	Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan gangguan akibat hewan, dari 14 kasus pada tahun 2023 menjadi hanya satu kasus pada kuartal pertama 2025. Desain <i>Topskor</i> terbuat dari aluminium tebal 1,5 mm berdiameter 65–75 cm dan efektif mencegah hewan menjangkau konduktor.	Penelitian ini hanya meninjau penurunan gangguan dari sisi jumlah kejadian tanpa menganalisis aspek teknis pada konfigurasi isolator tertentu. Oleh karena itu, penelitian penulis melanjutkan dengan analisis penerapan <i>Topskor</i> pada sistem 150 kV ULTG Baturaja untuk menilai efektivitasnya secara spesifik.
----	---	--	---	---	---

4.	Pengaruh Pemasangan Topi Isolator pada Penyulang Pondok Pinang Rayon Tabing (Sepannur Bandri, 2020)	Tingginya gangguan eksternal akibat hewan (burung & ular) dan perlunya pemadaman saat pemasangan topi isolator manual yang menyebabkan energi tidak tersalurkan.	Studi literatur, observasi lapangan, perhitungan energi tidak tersalurkan (kWh), analisis SAIDI/SAIFI, dan perbandingan pekerjaan pemasangan topi isolator dengan & tanpa pemadaman.	Pemasangan topi isolator tanpa pemadaman menghasilkan penghematan energi 9.592,63 kWh dan saving cost Rp 13.324.092,07. Alat pemasang topi isolator online terbukti efektif dan lebih efisien..	Penelitian ini fokus pada efisiensi pemasangan topi isolator dan penghematan energi, belum meneliti efektivitas topi isolator dalam menurunkan frekuensi gangguan eksternal seperti yang dibahas dalam penelitianmu di SUTT 150 kV ULTG Baturaja.
----	---	--	--	---	---

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.3 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan gangguan hewan pada jaringan transmisi 150 kV yang sering menimbulkan gangguan eksternal dan menurunkan keandalan sistem. Setelah permasalahan teridentifikasi, dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori dan referensi mengenai sistem proteksi mekanis serta fungsi aksesoris isolator Topskor sebagai upaya pencegahan gangguan. Langkah selanjutnya adalah observasi lapangan dan pengumpulan data gangguan penghantar di ULTG Baturaja, yang mencakup data frekuensi, jenis gangguan, serta kondisi fisik jaringan sebelum dan sesudah pemasangan Topskor. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui efektivitas penerapan Topskor dalam menurunkan gangguan eksternal akibat hewan, baik dari sisi jumlah maupun tingkat keparahan gangguan. Tahap terakhir yaitu evaluasi pengaruh pemasangan Topskor terhadap keandalan sistem transmisi, dengan meninjau hasil analisis dan membandingkannya terhadap standar operasional keandalan jaringan. Melalui alur pemikiran ini, penulis diharapkan dapat memahami sejauh mana pemasangan Topskor berperan dalam meningkatkan keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada jaringan transmisi 150 kV.