

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini, penulis melakukan tinjauan pustaka yang mencakup kajian terhadap berbagai referensi dan penelitian terkait yang relevan dengan topik yang diangkat. Tinjauan ini bertujuan untuk memperkuat dasar teori dan memahami hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengaruh fenomena penggaraman terhadap kinerja isolator serta dampaknya terhadap keandalan jaringan distribusi tenaga listrik.

Penelitian terkait gangguan akibat penggaraman telah dilakukan sebelumnya oleh Muha Quadri (2025) dalam penelitiannya berjudul “*Perbandingan Kinerja Isolator: Polimer, Keramik, dan Kaca di Kondisi Kabut Garam*” yang dipublikasikan melalui *ITB Digital Repository*, menganalisis performa tiga jenis isolator dalam kondisi terkontaminasi kabut garam. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa isolator polimer memiliki sifat hidrofobik terbaik dan paling tahan terhadap kontaminasi dibandingkan isolator keramik dan kaca, terutama pada kelembapan tinggi. Selain itu, penelitian tersebut juga menyoroti bahwa tingkat konduktivitas larutan garam berpengaruh langsung terhadap kenaikan arus bocor dan penurunan tegangan *flashover* pada ketiga jenis isolator yang diuji. Pada kondisi salinitas tinggi, isolator keramik dan kaca mengalami peningkatan arus bocor yang signifikan serta terbentuknya jejak karbon akibat pelepasan energi panas di permukaan isolator. Sementara itu, isolator polimer tetap mampu mempertahankan sifat hidrofobiknya meskipun dalam paparan kabut garam berkepanjangan, sehingga arus bocor yang muncul relatif stabil dan tidak memicu *flashover*.

Penelitian yang dilakukan oleh Valdi R. Yandri dan Nurhatisyah (2012) dalam jurnal berjudul “*Fenomena Flashover Akibat Arus Bocor pada Isolator (Kajian Dry-Band dan Kontaminasi)*” yang diterbitkan oleh Jurnal Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, membahas secara mendalam hubungan antara arus bocor, kontaminasi permukaan isolator, dan pembentukan *dry-band* terhadap terjadinya fenomena *flashover*. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa kontaminasi seperti debu, garam, atau polutan udara dapat membentuk lapisan konduktif pada permukaan isolator. Saat isolator berada pada kondisi lembap atau basah, lapisan ini akan memperbesar arus bocor di sepanjang

permukaan isolator. Ketika arus bocor meningkat secara signifikan, panas yang dihasilkan akan mengeringkan sebagian area basah dan membentuk *dry-band*, yaitu area kering yang memisahkan bagian lembap pada permukaan isolator.

Dry-band inilah yang menjadi titik awal terjadinya loncatan listrik atau *flashover*, karena perbedaan potensial listrik di antara area lembap dan kering semakin besar hingga melebihi kemampuan isolasi permukaan. Hasil penelitian Yandri dan Nurhatisyah ini memiliki keterkaitan langsung dengan penelitian tugas akhir mengenai pengaruh penggaraman terhadap kinerja isolator. Fenomena penggaraman pada isolator pesisir juga menyebabkan peningkatan arus bocor dan risiko *flashover* yang serupa dengan efek kontaminasi garam yang dibahas dalam jurnal tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Steven, R. S. (2008) berjudul “*Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Epoxy Resin*” dari Universitas Indonesia membahas bagaimana kontaminasi lingkungan atau polutan dapat memengaruhi sifat kelistrikan bahan isolasi padat, khususnya *epoxy resin* yang banyak digunakan sebagai bahan isolator pada sistem tenaga listrik. Dalam penelitiannya, Steven mengamati bahwa partikel polutan seperti debu industri, asap kendaraan, dan uap garam dari udara pesisir dapat menempel di permukaan *epoxy resin* dan membentuk lapisan tipis yang bersifat konduktif. Lapisan konduktif ini mengakibatkan penurunan nilai tahanan permukaan (surface resistance) sehingga memudahkan terjadinya arus bocor di sepanjang permukaan isolator. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan udara memperparah efek kontaminasi karena lapisan polutan yang menyerap air menjadi lebih konduktif. Dalam kondisi ekstrem, fenomena ini dapat memicu pelepasan muatan sebagian (*partial discharge*) dan bahkan *flashover*. Hasil penelitian ini relevan dengan tugas akhir tentang pengaruh penggaraman terhadap kinerja isolator, karena mekanisme penurunan tahanan permukaan akibat polutan memiliki kesamaan dengan efek kontaminasi garam pada isolator di daerah pesisir.

Hasil ini memperkuat rekomendasi penggunaan isolator polimer atau pelapisan *Room Temperature Vulcanized (RTV) Silicone Rubber Coating* sebagai langkah mitigasi gangguan akibat fenomena penggaraman, khususnya pada jaringan distribusi kelistrikan di wilayah pesisir di PT PLN (Persero) ULP Praya, yang berada di wilayah pantai.

Tujuannya adalah untuk membandingkan keandalan sistem *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) sebelum dan sesudah pelapisan dilakukan, serta mengevaluasi efektivitas pemeliharaan terkait interval pembersihan dan pelapisan ulang yang optimal.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yang sering disebut jaringan primer distribusi, adalah bagian dari sistem tenaga listrik antara gardu induk dan gardu distribusi. Ada beberapa jenis konstruksi JTM, yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM), dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM).

1. Saluran Udara Tegangan Menengah

Sistem Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan salah satu bentuk konstruksi penyaluran tenaga listrik yang paling ekonomis untuk daya dengan kapasitas setara. Jenis saluran ini paling banyak digunakan pada jaringan Tegangan Menengah di Indonesia. Ciri khas dari sistem ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang dipasang pada isolator di tiang besi atau beton. Karena menggunakan penghantar tanpa isolasi, aspek keselamatan ketenagalistrikan menjadi hal penting yang harus diperhatikan, terutama mengenai jarak aman minimum antara penghantar bertegangan 20 kV, baik antar fase, dengan bangunan, tanaman, maupun jangkauan manusia. Selain itu, jenis penghantar yang tergolong dalam kelompok SUTM juga mencakup penghantar berisolasi sebagian (*half insulated single core*) seperti AAAC-S. Meskipun jenis penghantar ini belum sepenuhnya menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh, penggunaannya dapat membantu mengurangi risiko gangguan sementara (temporer), khususnya yang disebabkan oleh sentuhan tanaman.



Gambar 2. 1 Jaringan SUTM

Jaringan distribusi tegangan rendah menggunakan bentuk radial murni. Sambungan tenaga listrik merupakan titik akhir sistem distribusi, di mana terpasang Alat Pembatas dan Pengukur (APP) sebelum listrik disalurkan ke pelanggan. Konstruksi keseluruhan sistem distribusi, mulai dari jaringan hingga sambungan tenaga listrik, dapat berupa saluran udara atau saluran bawah tanah. Pilihan jenis saluran ini ditentukan oleh faktor-faktor seperti kebijakan manajemen, kebutuhan akan kontinuitas pelayanan, jenis pelanggan, permintaan beban khusus, dan pertimbangan biaya investasi.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

Untuk meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi sebagian pada konstruksi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV dapat diganti dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin. Pada jenis penghantar ini, isolasi tiap fase tidak memerlukan pelindung mekanis tambahan. Namun, berat kabel pilin menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya.



Gambar 2. 2 Kabel Udara Tegangan Menengah

3. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah

Konstruksi Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) merupakan sistem yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah, namun biayanya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan sistem penyaluran daya lain untuk kapasitas yang sama. Hal ini disebabkan oleh adanya konstruksi isolasi pada setiap fase serta pelindung mekanis yang diperlukan sesuai standar. Dalam hal biaya, konstruksi yang ditanam langsung di tanah merupakan pilihan paling ekonomis dibandingkan dengan penggunaan conduit ataupun terowongan beton (*tunneling*).



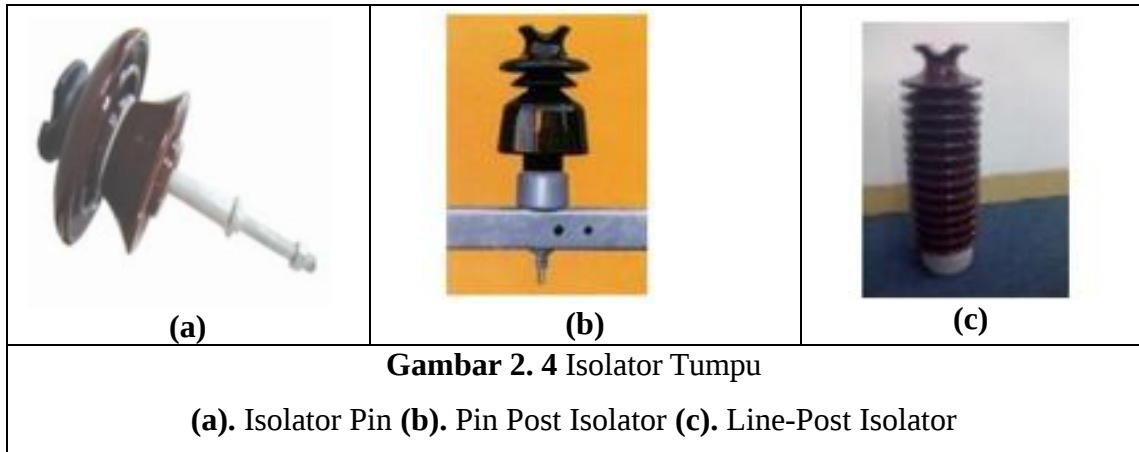
. Gambar 2. 3 Kabel Tanah Tegangan Menengah

2.2.2 Isolator pada Jaringan Tegangan Menengah

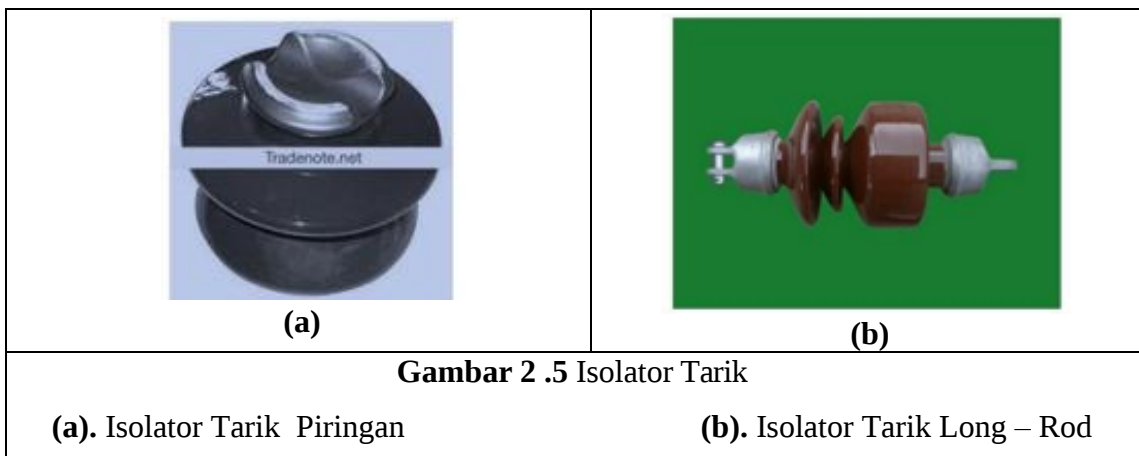
Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang

penopang/ travers dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah :

1. Isolator Tumpu



2. Isolator Tarik

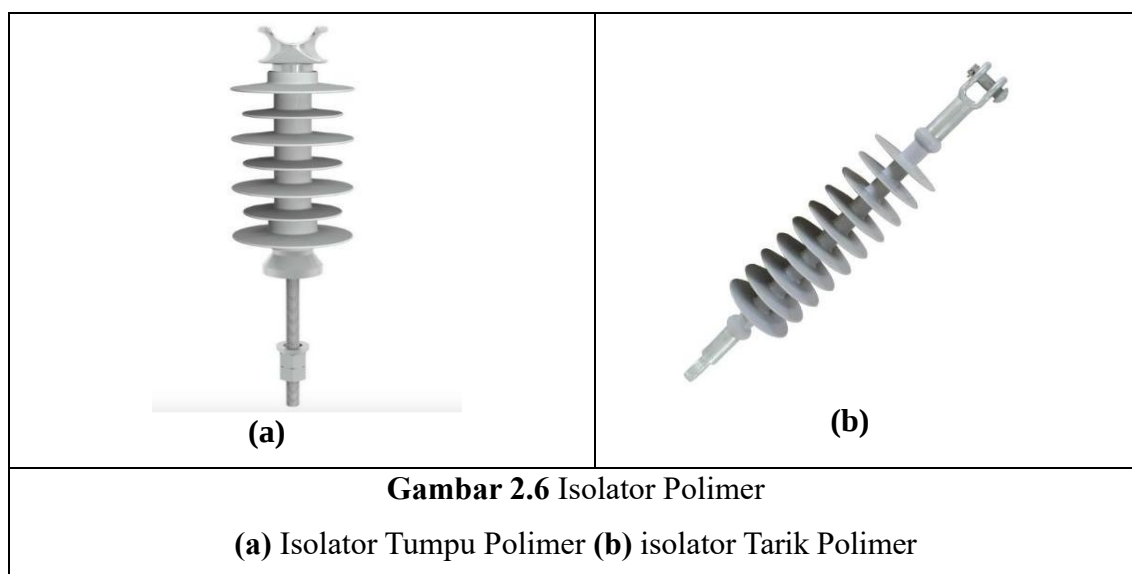


2.2.3 Jenis – Jenis Isolator

Salah satu faktor yang memengaruhi kinerja listrik dan mekanis suatu isolator adalah jenis material penyusunnya. Secara umum, isolator yang banyak digunakan meliputi isolator polimer, keramik, dan kaca. Isolator polimer memiliki keunggulan berupa sifat hidrofobisitas yang baik dan bobot yang ringan, namun kurang tahan terhadap degradasi akibat paparan sinar *ultraviolet* (UV) serta polusi berat dalam jangka panjang. Sementara

itu, isolator keramik unggul dalam ketahanan mekanis dan termal, tetapi mudah mengalami penumpukan polutan di permukaannya, terutama pada kondisi lembap. Adapun isolator kaca memiliki permukaan yang halus dan stabil secara kimia, namun rentan retak ketika terjadi perubahan suhu ekstrem. Oleh karena itu, pemilihan jenis isolator perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan, tingkat polusi, serta pertimbangan biaya dan umur pakai agar kinerja sistem kelistrikan tetap optimal.

1. Isolator Polimer



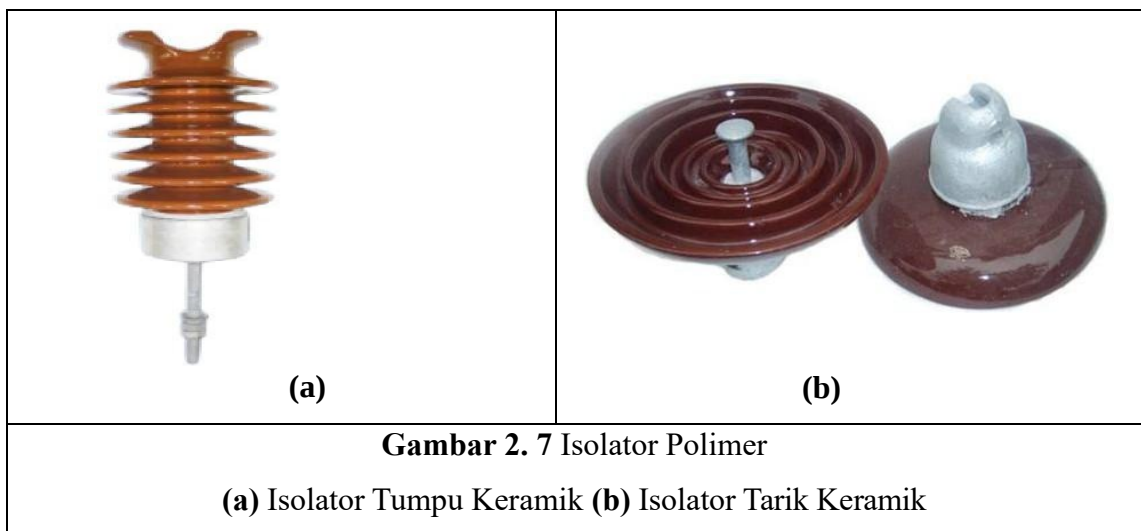
Isolator polimer adalah isolator yang terdiri dari molekul makro dengan rantai panjang yang memiliki unit monomer berulang, umumnya dengan awalan 'poly' pada nama monomernya. Beberapa bahan polimer yang digunakan dalam isolator ini meliputi *silicone rubber*, *ethylene propylene rubber* (EPR), dan *epoxy resins*. Bahan polimer ini memiliki sifat hidrofobik yang sangat baik dan massa jenis yang lebih rendah dibandingkan isolator porselin. Selain itu, bahan polimer yang digunakan untuk isolator ini memiliki kepadatan tinggi tanpa adanya pori pada permukaannya, yang bermanfaat dalam menahan kontaminan dan polusi agar tidak menempel pada isolator. Namun, isolator polimer memiliki kelemahan dalam hal kekuatan mekanis yang lebih rendah dibandingkan isolator porselin, dan rentan terhadap kondisi cuaca ekstrem yang dapat mempercepat proses penuaan pada permukaannya.

Paparan radiasi *ultraviolet* (UV) atau korona dapat menyebabkan penurunan sifat hidrofobik isolator ini, mengurangi keefektifan isolasi pada lingkungan dengan tingkat

polusi tinggi. Isolator polimer mulai dikembangkan pada tahun 1963 hingga saat ini. Isolator polimer dikenal juga dengan sebutan isolator non-keramik atau isolator komposit. Isolator polimer dewasa ini banyak digunakan dikarenakan kelebihanannya dibandingkan dengan isolator berbahan keramik dan kaca.

2. Isolator Keramik

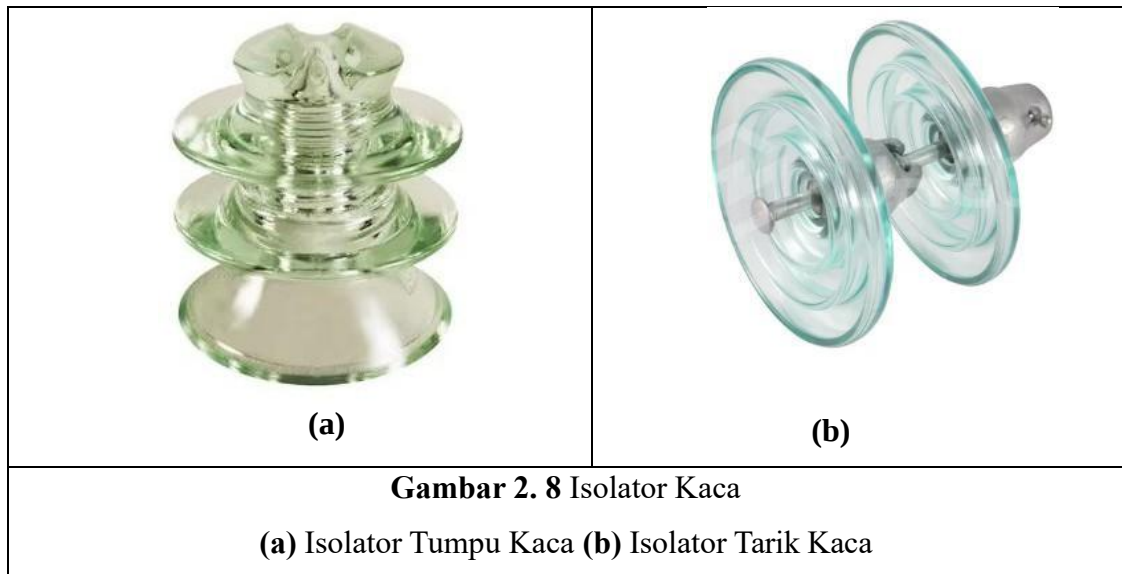
Isolator keramik terbuat dari campuran tanah porselin, kwarts, dan feldspat, dengan lapisan glazuur pada bagian luar untuk mencegah terbentuknya pori-pori di permukaannya. Isolator jenis ini memiliki sifat isolasi listrik yang sangat baik berkat kekuatan dielektrik dan ketahanan mekanisnya yang tinggi, serta memiliki biaya produksi yang cukup ekonomis. Daya tahan mekanis keramik sangat dipengaruhi oleh proses pembuatannya. Material ini memiliki performa yang sangat baik saat menerima beban tekan, namun kekuatannya menurun ketika mengalami beban tekuk, dan semakin melemah saat menahan beban tarik.



3. Isolator Kaca

Isolator kaca terbuat dari komposisi utama silika (SiO_2) sekitar 70-75%, yang memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Untuk menurunkan titik leleh kaca, ditambahkan soda (Na_2O) sekitar 12-15%, meskipun hal ini membuat kaca lebih rentan terhadap kelembapan. Untuk mengimbangi kelemahan tersebut, kapur (CaO) sekitar 8- 10% digunakan agar kaca lebih tahan terhadap kelembapan dan memiliki kekuatan mekanis yang baik. Selain itu, alumina (Al_2O_3) sekitar 1-3% dan

magnesium oksida (MgO) sekitar 1-2% ditambahkan untuk meningkatkan stabilitas termal dan ketahanan terhadap perubahan suhu ekstrem. Komposisi ini menghasilkan isolator kaca yang kuat, tahan lama, dan cocok untuk aplikasi kelistrikan dalam berbagai kondisi lingkungan.



Isolator gelas juga mempunyai kekurangan-kekurangan sebagai berikut :

- a. Isolator kaca memiliki sifat mudah mengalami kondensasi (pengembunan), sehingga debu dan kotoran lebih mudah menempel pada permukaannya. Ketika kotoran tersebut menjadi basah, permukaan isolator akan menjadi lebih konduktif, menyebabkan arus bocor yang mengalir di permukaan semakin meningkat. Kondisi ini dapat memicu terjadinya lewat denyar (*flashover*) pada isolator tersebut.
- b. Memiliki tegangan tembus yang relatif rendah, serta kekuatan dielektriknya dapat berubah secara cepat seiring dengan perubahan suhu yang terjadi.
- c. Isolator kaca sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan, yang dapat menyebabkan pemuaian pada material kaca. Akibatnya, isolator jenis ini menjadi lebih rentan mengalami retak atau pecah.

2.2.4 Polusi Pada Isolator

Isolator merupakan komponen penting pada sistem tenaga listrik yang umumnya

terpasang di ruang terbuka, seperti di gardu induk atau jaringan distribusi. Kondisi ini membuat isolator rentan terhadap kontaminasi partikel asing (polutan) yang dapat menurunkan nilai tahanan isolasi dan meningkatkan risiko arus bocor atau tegangan tembus.

Secara umum, sumber polusi pada isolator dibagi menjadi empat kategori utama :

1. Polusi Laut

Polusi ini berasal dari partikel garam yang terbawa angin laut dan menempel pada permukaan isolator. Zat penyusunnya antara lain Natrium Klorida (NaCl), Magnesium Klorida (MgCl_2), dan Natrium Nitrat (NaNO_3). Tingkat polusi berkurang seiring bertambahnya jarak isolator dari pantai.

2. Polusi Industri

Bersumber dari aktivitas pabrik seperti debu semen, jelaga, dan asap cerobong, yang dapat menempel kuat pada permukaan isolator dan mengganggu konduktivitasnya

3. Polusi Daerah Padang Pasir

Didominasi oleh debu tak larut (NSDD – *Non Soluble Deposit Density*). Pada daerah pantai berpasir, polusi dapat meningkat akibat kombinasi debu dan garam laut, dengan nilai ESDD + NSDD dapat melebihi $1,0 \text{ mg/cm}^2$.

4. Polusi Gunung Berapi

Berasal dari debu vulkanik yang mengandung alumina (Al_2O_3) dan silikat (SiO_2). Nilai NSDD di daerah ini dapat mencapai $0,8 \text{ mg/cm}^2$ (Amali, 2010).

2.2.5 Sifat polutan Pada Isolator

Berdasarkan sifatnya polutan dapat dibagi menjadi 2 menurut Steven, R. S. (2008). Pada penelitiannya tentang Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan *Epoxy Resin*. Universitas Indonesia, yaitu :

1. Polutan *Inert*

Polutan jenis ini mempunyai sifat yang lembam atau dapat juga dikatakan sebagai zat padat yang menjadi ion karena terurai yang mampu mempengaruhi nilai

tahanan pada isolator. Contoh jenis dari polutan inert ini yaitu SiO_2 tanah liat (kaolin) yang dapat membentuk ikatan mekanis yang menyebabkan komponen konduktif terikat sehingga dapat berpengaruh pada nilai tahanan isolator, sebab ikatan mekanis inilah yang membuat permukaan pada isolator sulit untuk dibersihkan.

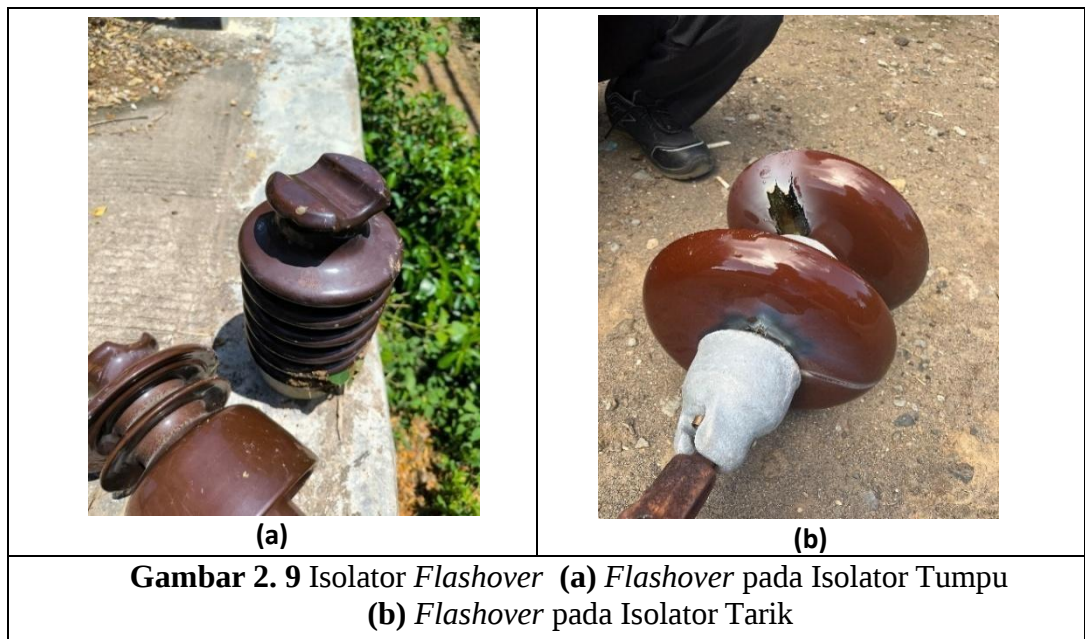
2. Polutan Konduktif

Polutan jenis ini bersifat konduktif atau dapat menghantarkan arus listrik yang mampu menurunkan nilai tahanan pada permukaan isolator. Adapun jenis-jenis polutan yang dapat bersifat konduktif yaitu MgCl , Na_2SO_4 , NaCl , dan sebagainya. Penurunan nilai tahanan pada permukaan isolator disebabkan oleh kandungan garam yang mudah terurai menjadi ion sehingga dapat bersifat konduktif pada permukaan isolator.

2.2.6 Kegagalan Pada Isolator

Kegagalan – kegagalan isolator dalam melaksanakan fungsinya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

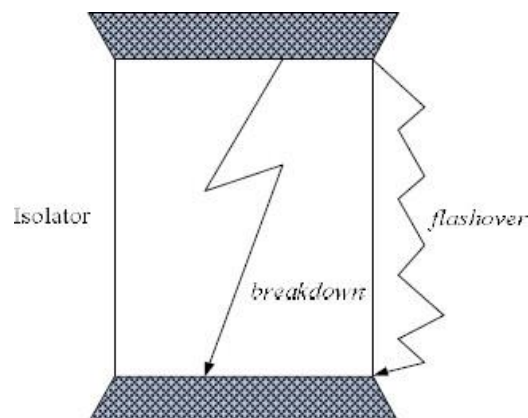
1. Kegagalan tembus (*breakdown*) umumnya disebabkan oleh faktor eksternal, seperti sambaran petir. Masalah ini dapat dicegah dengan menggunakan pengaman tanduk agar arus petir tidak langsung mengenai isolator. Namun, setelah mengalami kegagalan tembus, karakteristik elektrik isolator tidak dapat kembali seperti semula, dan sebagian isolator biasanya mengalami kerusakan mekanis sehingga tidak layak digunakan kembali.
2. Kegagalan yang disebabkan oleh lewat denyar (*flashover*) umumnya dipengaruhi oleh karakteristik tahanan permukaan serta bentuk fisik isolator. Faktor-faktor lingkungan sering menjadi penyebab utama terjadinya fenomena ini. Akibat dari lewat denyar dapat berupa kerusakan pada permukaan isolator.



Berbagai bentuk kegagalan pada isolator dapat digambarkan atau diilustrasikan melalui gambar berikut :

a. Kegagalan lewat denyar (*flashover*)

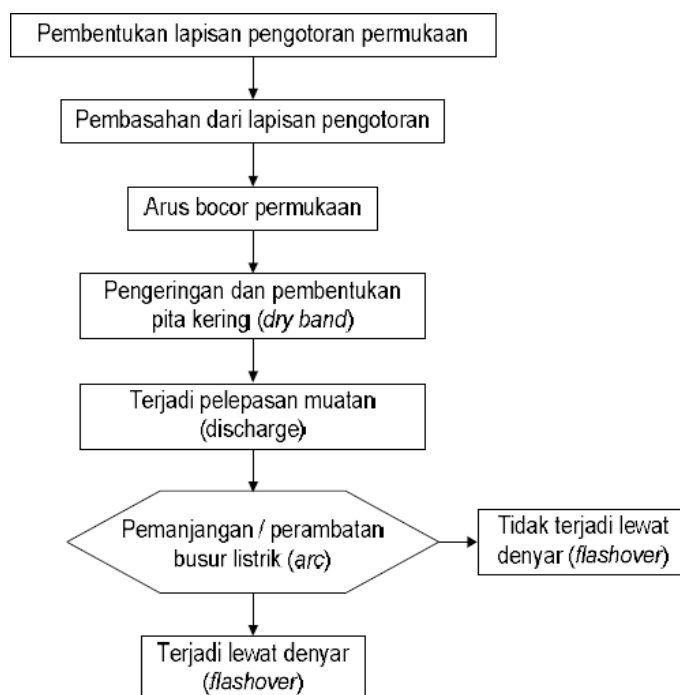
Proses ini diawali dengan munculnya pita kering (*dry band*). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, terbentuknya lapisan konduktif pada permukaan isolator disebabkan oleh penempelan partikel polutan. Lapisan konduktif tersebut memungkinkan terjadinya aliran arus bocor pada permukaan isolator.



Gambar 2. 10 Ilustrasi Kegagalan Isolator

Ketika arus bocor mengalir, akan terjadi pemanasan pada lapisan permukaan isolator. Pemanasan yang berlangsung terus-menerus dapat menyebabkan terbentuknya pita kering (*dry band*) pada area tertentu. Pada tegangan tertentu, kondisi ini dapat memicu

pelepasan muatan listrik yang melintasi pita kering tersebut. Pelepasan muatan ini kemudian dapat memanjang membentuk busur listrik (*arc*) hingga akhirnya menimbulkan lewat denyar (*flashover*) yang menjalar di seluruh permukaan isolator (Busono, 1982). Mekanisme terjadinya *flashover* dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 2. 11 Mekanisme Lewat Denyar (*Flashover*)

Tingkat polusi pada permukaan isolator dinyatakan melalui dua parameter, yaitu ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) dan NSDD (*Non-Soluble Deposit Density*). ESDD menggambarkan konsentrasi garam ekuivalen per satuan luas dari polutan yang menempel pada permukaan isolator, sedangkan NSDD menunjukkan jumlah endapan polutan yang tidak larut dalam air. Klasifikasi tingkat polusi menurut Standar IEC No. 815 tahun 1994 dikemukakan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Polusi

ESDD (mg/cm^2)	Klasifikasi Polusi
0 – 0,03	Bersih atau polusi sangat ringan
0,03 – 0,06	Polusi ringan
0,06 – 0,1	Polusi Sedang
> 0,1	Polusi Berat

b. Arus Bocor (*Leakage Current*)

Arus bocor terjadi ketika terbentuk lapisan konduktif pada permukaan isolator (*Philips*, 2002). Lapisan ini muncul akibat penumpukan polutan, baik yang bersifat konduktif maupun non-konduktif, yang keduanya dapat memengaruhi kinerja isolator. Polutan konduktif secara langsung menyebabkan aliran arus bocor di permukaan, sedangkan polutan non-konduktif meningkatkan kelembapan karena sifatnya yang hidrofilik serta dapat menarik partikel konduktif di sekitarnya. Dalam kondisi bersih, permukaan isolator memiliki tahanan listrik yang tinggi, namun terbentuknya lapisan konduktif serta adanya kelembapan atau air pada permukaan isolator akan menurunkan nilai tahanan permukaannya, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya arus bocor. Penurunan ini mengakibatkan kenaikan arus bocor, yang saat mengalir menghasilkan temperatur tinggi di area yang dilewatinya. Akibatnya, terjadi penguapan sebagian pada permukaan basah isolator dengan kerapatan arus tinggi, dan proses ini dapat memicu terbentuknya pita kering (*dry band*).

2.2.7 Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawatsaluran dengan netral (N). Ketentuan-ketentuan tentang tahanan isolasi ini sudah diatur dalam PUIL 2000 sebagai berikut:

- a. Tahanan isolasi dari bagian instalasi listrik dalam ruangan yang kering harus mempunyai nilai sekurang-kurangnya 1000 ohm tiap 1 Volt tegangan nominalnya, dengan pengertian bahwa arus bocor dari tiap bagian instalasi listrik pada tegangan nominalnya tidak boleh melebihi 1 mA tiap 100 m panjang instalasi listrik.
- b. tegangan nominalnya tidak boleh melebihi 1 mA tiap 100 m panjang instalasi listrik.
- c. Tahanan isolasi dari bagian instalasi listrik dalam ruang yang lembab atau basah harus mempunyai nilai sekurang-kurangnya 1000 ohm tiap 1 volt tegangan nominalnya.
- d. Alat ukur tahanan isolasi suatu instalasi harus mampu:
 - Membangkitkan tegangan searah sekurangkurangnya sama dengan tegangan

nominal instalasi tersebut, tetapi tidak boleh kurang dari 500 Volt.

- Menghasilkan arus sekurang-kurangnya 1 mA pada tegangan tersebut.

2.2.8 RTV Silicone Rubber

RTV (*Room Temperature Vulcanizing*) *silicone rubber* merupakan jenis karet silikon yang dapat mengering pada suhu ruangan dan membentuk material yang kuat serta tetap fleksibel. Material ini tersusun atas dua komponen utama, yaitu silikon cair sebagai bahan dasar dan bahan pengeras (*hardener*) sebagai agen pengikat.

Pada penelitian ini digunakan RTV *silicone rubber* tipe 683 sebagai material utama. Produk tersebut diperoleh dari Metapel Chemical, Indonesia. Berikut ditampilkan gambar RTV *silicone rubber* tipe 683 beserta *hardener* yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 2. 12 RTV *silicone rubber* tipe 683

Dalam penelitian ini digunakan *thinner silicone* sebagai bahan pengencer *silicone rubber* untuk menurunkan tingkat kekentalannya. Penambahan *thinner* bertujuan agar proses pembuatan sampel menjadi lebih mudah serta mempermudah pengaplikasian material pada permukaan isolator. *Thinner silicone* yang digunakan diperoleh dari Metapel Chemical, Indonesia.

Berdasarkan petunjuk penggunaan pada produk, persentase maksimum penambahan *thinner silicone* yang direkomendasikan adalah sebesar 5% atau kurang dari total

campuran.



Gambar 2. 13 *Thins Silicone*

selain menggunakan *thinner silicone* sebagai bahan pengencer, juga digunakan *thinner* tambahan untuk menurunkan *viskositas silicone rubber* agar lebih mudah diaplikasikan pada permukaan isolator. Penggunaan thinner ini tidak hanya mempermudah proses pelapisan, tetapi juga membantu proses pencampuran (*mixing*), khususnya saat menambahkan nanosilika dalam jumlah yang relatif besar sehingga campuran dapat menjadi lebih homogen.



Gambar 2. 14 *Thinner*

2.2.9 Pemeliharaan Jaringan Distribusi

1. Pengertian Pemeliharaan

Pemeliharaan merupakan serangkaian kegiatan yang mencakup tahapan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan evaluasi terhadap pekerjaan

pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal (*schedule*) maupun tidak terjadwal, dengan tujuan menjaga keandalan serta kinerja peralatan agar tetap berfungsi optimal.

2. Tujuan Pemeliharaan

Dengan dasar Surat Edaran Direksi PT.PLN (Persero) Nomor 040.E/152/DIR/1999 maksud diadakannya kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi, tujuan utama dari pelaksanaan pemeliharaan distribusi adalah untuk :

- a. Memastikan peralatan atau komponen beroperasi secara optimal sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, sehingga dapat digunakan secara efisien hingga mencapai umur ekonomisnya.
- b. Menjamin bahwa jaringan tetap berfungsi dengan baik untuk menyalurkan energi listrik dari pusat listrik sampai ke sisi pelanggan.
- c. Menjamin kinerja jaringan listrik agar tetap berfungsi dengan baik dalam menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke sisi pelanggan secara andal, efisien, dan berkesinambungan.
- d. Memastikan bahwa sistem atau peralatan distribusi listrik beroperasi dengan aman, sehingga memberikan perlindungan bagi personel yang bekerja maupun masyarakat umum.
- e. Meningkatkan efektivitas operasional secara maksimal dengan meminimalkan waktu tidak beroperasinya peralatan (*downtime*), sehingga biaya operasional yang timbul dapat ditekan sekecil mungkin.
- f. Menjaga kondisi peralatan atau sistem agar tetap dalam keadaan baik, sehingga kualitas produksi maupun kualitas kerja dapat dipertahankan secara optimal.
- g. Menjaga nilai dan integritas peralatan atau sistem dilakukan dengan mencegah terjadinya berbagai bentuk kerusakan.
- h. Menjamin keselamatan pekerja serta melindungi seluruh peralatan dari potensi bahaya yang dapat timbul akibat kerusakan atau kegagalan peralatan.
- i. Mempertahankan kinerja seluruh peralatan agar tetap beroperasi dengan efisiensi maksimum.

- j. Tujuan akhirnya adalah mencapai kombinasi yang paling ekonomis antara berbagai faktor biaya dengan hasil kerja yang optimal.

3. Jenis – jenis Pemeliharaan

- a. Pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) : preventif dan korektif
- b. Pemeliharaan tidak direncanakan (*unplanned maintenance*)

1.) Berdasarkan Metodenya

- a. Pemeliharaan Rutin

Merupakan kegiatan pemeliharaan yang direncanakan secara terusmenerus (periodik) dengan tujuan untuk mempertahankan kondisi sistem atau peralatan agar tetap dalam keadaan baik dan optimal. Contoh pemeliharaan rutin seperti, pelurusan tiang miring, pemeliharaan PHBTR gardu, Inspeksi Rutin dan Perabasan.



Gambar 2. 15 Pemeliharaan Rutin pelurusan tiang miring tanpa padam

- b. Pemeliharaan Korektif

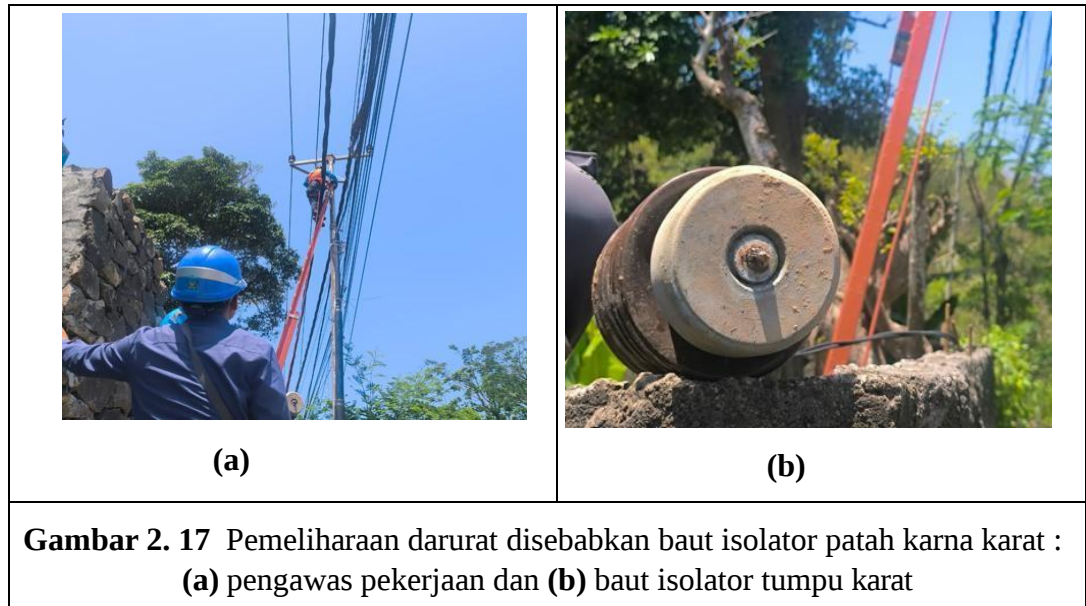
Merupakan pemeliharaan yang terencana dikarenakan faktor waktu dimana peralatan memerlukan perbaikan atau pemeliharaan yang tidak terencana tetapi berdasarkan kondisi Peralatan yang menunjukkan gejala kerusakan ataupun sudah terjadi kerusakan.



Gambar 2. 16 Pemeliharaan korektif penggantian isolator *Flashover*

c. Pemeliharaan Darurat

Merupakan pemeliharaan yang bersifat mendadak, tidak terencana akibat gangguan atau kerusakan atau hal-hal lain di luar kemampuan sehingga perlu dilakukan pemeriksaan atau pengecekan, perbaikan maupun penggantian peralatan tetapi masih dalam kurun waktu pemeliharaan. Pemeliharaan darurat juga biasanya dilaksanakan apabila sudah atau akan terjadi gangguan di satu titik sehingga harus segera dilakukan perbaikan.



Pada penelitian ini disebutkan juga pemeliharaan isolator dengan pengaplikasian *Room Temperature Vulcanized (RTV) Silicone Rubber Coating* yaitu melakukan pelapisan isolator keramik dengan cat hidrofobik yang berfungsi untuk mengurangi resiko *flashover* dan arus bocor pada isolator keramik akibat polutan.

Penggunaan *Room Temperature Vulcanized (RTV) Silicone Rubber Coating* ini dilakukan saat pemeliharaan terencana guna mengantisipasi gangguan akibat arus bocor maupun *flashover*, *Room Temperature Vulcanized (RTV) Silicone Rubber Coating* merupakan alternatif saat material isolator polimer tidak mencukupi jumlah isolator keramik yang harus diganti pada saat pemeliharaan dengan pengaplikasian langsung dilapangan.

2.2.10 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Sumber gangguan distribusi dapat berasal dari internal maupun eksternal, Adapun contoh internal berupa :

1. Kerusakan material
2. Kesalahan penyambungan
3. Penuaan material
4. Beban lebih

Contoh sumber gangguan akibat eksternal

1. Angin dan pohon yang mengenai jaringan
2. Hewan dan benda asing lainnya
3. Petir
4. Cuaca buruk
5. Pekerjaan manusia

Macam gangguan pada sistem distribusi saluran udara dapat dibagi atas dua kelompok ;

1. Gangguan Temporer

Gangguan temporer merupakan gangguan dimana setelah gangguan itu hilang tidak menimbulkan kerusakan pada peralatan yang terganggu, misalnya gangguan yang disebabkan dahan atau ranting yang menyentuh jaringan distribusi.

2. Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan dimana setelah gangguan dihilangkan masih terdapat kerusakan pada peralatan sehingga perlu diperbaiki

Gangguan yang bersifat temporer jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang sendiri maupun bekerjanya alat pengaman pemutus balik otomatis atau recloser, dapat berubah menjadi gangguan yang bersifat permanen dan menyebabkan pemutusan tetap.

2.2.11 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Secara umum, keandalan dapat diartikan sebagai kemungkinan suatu peralatan berfungsi sesuai dengan yang direncanakan dalam jangka waktu tertentu dan pada kondisi operasi yang telah ditetapkan. Dalam sistem tenaga listrik, konsep keandalan mencakup seluruh aspek yang berkaitan dengan kemampuan sistem tersebut dalam memenuhi kebutuhan konsumen sesuai dengan kondisi operasinya. Keandalan suatu sistem listrik dapat dibagi menjadi dua. Yang pertama adalah ketersediaan kapasitas dan sarana penyediaan listrik untuk memenuhi permintaan beban. Yang kedua adalah keamanan sistem listrik, yaitu kemampuan atau respon sistem listrik dalam mengatasi gangguan - gangguan yang ada. Keandalan yang umum dibahas adalah keandalan sistem tenaga listrik dalam hal ketersediaan kapasitas dan sarana penyediaan

listrik kepada pelanggan listrik. Seberapa sistem tenaga memiliki keandalan dapat dilihat dari berbagai faktor, antara lain meliputi rata-rata lama waktu operasi, peluang terjadinya gangguan pada suatu titik beban, estimasi kerugian yang muncul apabila energi listrik gagal disalurkan ke titik beban, serta faktor-faktor lainnya yang berpengaruh.

Standar keandalan jaringan listrik diukur melalui berbagai indeks keandalan seperti :

1. *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)* merupakan salah satu indeks keandalan yang menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan atau pemadaman yang dialami pelanggan dalam suatu sistem distribusi listrik. Nilai ini diperoleh dari hasil pembagian antara total jumlah pelanggan yang mengalami padam dikalikan dengan frekuensi padam, terhadap jumlah total pelanggan yang dilayani. Secara matematis, indeks ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_t} \text{ Kali /Pelanggan/Tahun} \quad (2.1)$$

Dimana :

λ_i = angka kegagalan rata-rata/frekuensi padam (kali)

N_i = jumlah pelanggan yang padam (pelanggan)

N_t = jumlah pelanggan yang dilayani (pelanggan)

2. *System Average Interruption Duration Index (SAIDI)* merupakan indeks keandalan yang menggambarkan rata-rata lama waktu gangguan atau pemadaman yang dialami oleh setiap pelanggan dalam sistem distribusi listrik. Indeks ini dihitung dengan membagi total hasil perkalian antara durasi padam dan jumlah pelanggan yang mengalami padam dengan jumlah total pelanggan yang dilayani. Secara matematis, rumusnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_t} \text{ Jam/Pelanggan/Tahun} \quad (2.2)$$

Dimana :

U_i = waktu pemadaman dalam periode tertentu (jam)

N_i = jumlah pelanggan yang padam (pelanggan)

N_t = jumlah pelanggan yang dilayani (pelanggan)

Setelah mendapatkan mengetahui nilai indeks keandalan pada *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) di ULP Praya, nilai keandalan dibandingkan dengan standarisasi jaringan distribusi berdasarkan SPLN 68-2 : 1986 dan IEEE 1366-2003. Berikut data standarisasi jaringan distribusi yang rangkum dalam Tabel 2. 2.

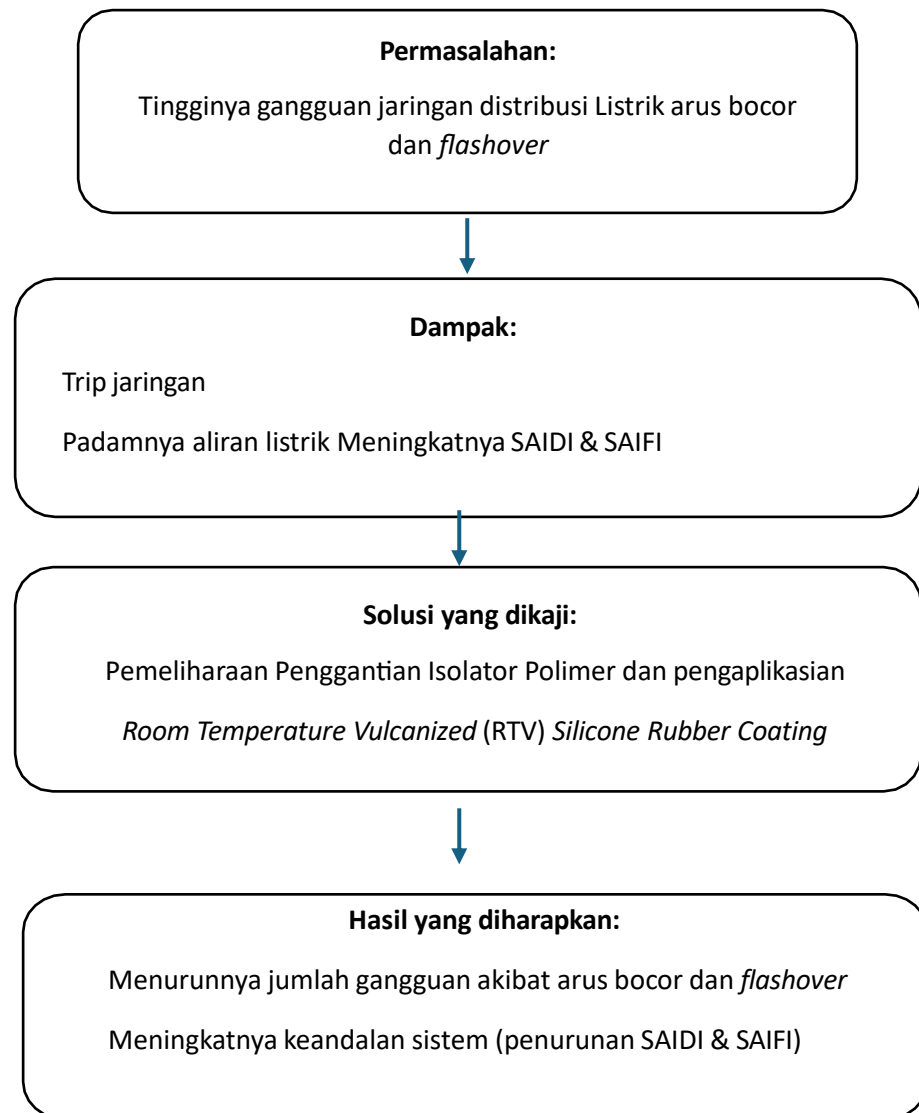
Tabel 2. 2 Standar Keandalan Distribusi 20 KV

Indeks	SPLN 68-2 : 1986	IEEE 13 66-2003	ULP PRAYA
SAIFI	3,2 kali/tahun	1,45 kali/tahun	1,96 kali/tahun
SAIDI	21 jam/tahun	2,30 jam/tahun	2,06 Jam/tahun

2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini berangkat dari tingginya frekuensi gangguan pada jaringan distribusi listrik yang disebabkan oleh arus bocor dan terjadinya *flashover* akibat fenomena penggaraman. Kondisi tersebut mengakibatkan trip jaringan, pemadaman listrik, serta kenaikan nilai *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), yang menjadi indikator menurunnya keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Situasi ini menegaskan perlunya solusi pencegahan yang efektif, ekonomis, dan mudah diterapkan, guna meminimalkan potensi gangguan tanpa harus melakukan perombakan besar terhadap infrastruktur jaringan yang sudah ada. Solusi yang dikaji dalam penelitian ini adalah pemeliharaan isolator dengan mengganti menjadi polimer serta pelapisan *Room Temperature Vulcanized* (RTV) *Silicone Rubber Coating* pada isolator keramik. Pemeliharaan ini diharapkan mampu menurunkan angka gangguan akibat *flashover* dan arus bocor karena penggaraman. Melalui pengamatan dan analisis data gangguan sebelum dan sesudah pemasangan, dan pengaplikasian *Room Temperature Vulcanized* (RTV) *Silicone Rubber Coating* dapat diukur. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pertimbangan teknis

bagi pihak PLN dalam menerapkan strategi alternatif pemeliharaan jaringan yang lebih andal dan berkelanjutan.



Gambar 2. 18 Kerangka Pemikiran