

**ANALYSIS PENENTUAN KELAYAKAN ISOLATOR LAPISAN ZINC  
SLEEVE PADA MENARA SUTT 150 KV TERHADAP ARUS BOCOR**

**TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1 Pada Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



**DISUSUN OLEH**

**ADE SATRIA**

**30602300043**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM  
SULTAN AGUNG**

**2025**

**ANALYSIS OF DETERMINING THE FEASIBILITY OF ZINC SLEEVE  
COATED INSULATORS ON 150 KV TOWERS AGAINST LEAKAGE  
CURRENT**

**FINAL PROJECT**

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at Department of Electrical Engineering. Faculty of Industrial Technology, Sultan Agung Islamic University



30602300043

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "**ANALYSIS PENENTUAN KELAYAKAN ISOLATOR LAPISAN ZINC SLEEVE PADA MENARA SUTT 150 KV TERHADAP ARUS BOCOR**" ini disusun oleh:

Nama : ADE SATRIA  
NIM : 30602300043  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

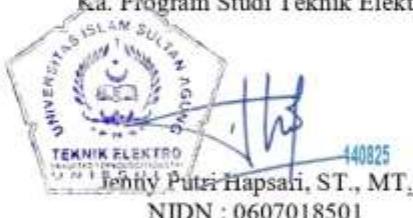
Hari : Kamis  
Tanggal : 27 Juli 2025



Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Phd., IPM,  
NIDN : 0628097501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro

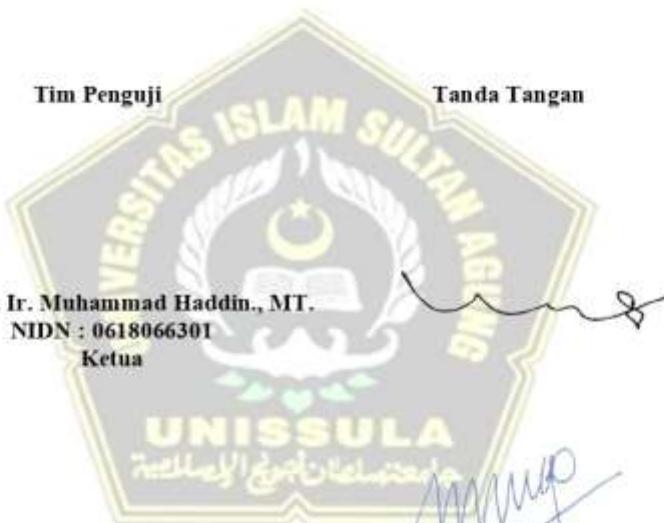


Jenty Putri Hapsari, ST., MT,  
NIDN : 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "**ANALYSIS PENENTUAN KELAYAKAN ISOLATOR LAPISAN ZINC SLEEVE PADA MENARA SUTT 150 KV TERHADAP ARUS BOCOR**" ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis  
Tanggal : 27 Juli 2025



Prof. Dr. Ir. Muhammad Haddin., MT.  
NIDN : 0618066301  
Ketua

Munaf Ismail, S.T., M.T.  
NIDN : 0613127302  
Penguji I

Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Phd., IPM.  
NIDN : 0628097501  
Penguji II

## **SURAT PERNYATAAN**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ade Satria  
NIM : 30602300043  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **"ANALYSIS PENENTUAN KELAYAKAN ISOLATOR LAPISAN ZINC SLEEVE PADA MENARA SUTT 150 KV TERHADAP ARUS BOCOR"** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 27 Juli 2025

Yang Menyatakan



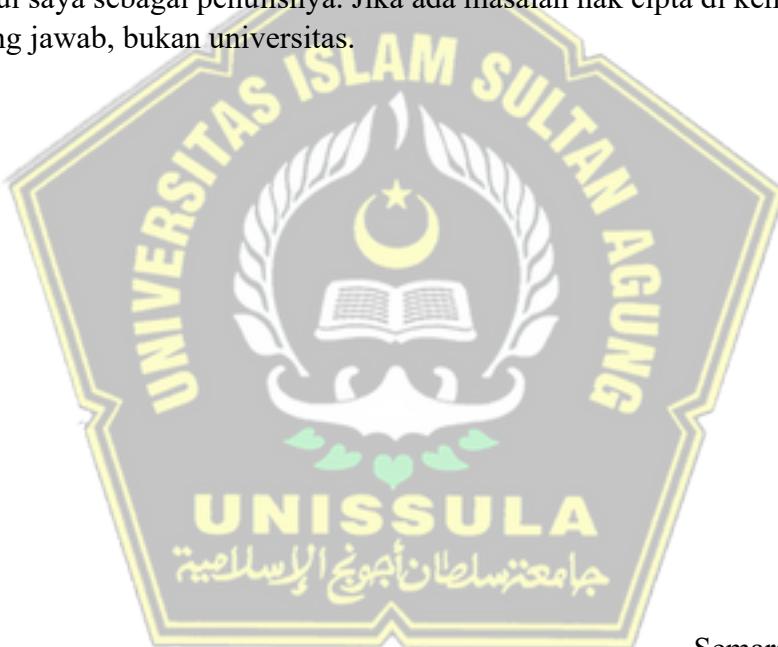
Ade Satria

## **PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ade Satria  
NIM : 30602200082  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri  
Email : ade.satria4695@gmail.com

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul : “ANALYSIS PENENTUAN KELAYAKAN ISOLATOR KACA DENGAN LAPISAN ZINC SLEEVE SUTT 150 KV TERHADAP ARUS BOCOR” Saya memberikan izin kepada Universitas Islam Sultan Agung untuk menggunakan karya saya untuk keperluan akademis tanpa harus membayar saya. Mereka dapat menyimpan, membagikan, dan menerbitkan karya saya selama mereka mengakui saya sebagai penulisnya. Jika ada masalah hak cipta di kemudian hari, saya yang bertanggung jawab, bukan universitas.



Semarang, 24 Juli 2025

Yang menyatakan

Ade Satria

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh Alhamdulillahirobbilalamin segala puja dan puji syukur yang tak terhingga atas kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan sekaligus laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Penggunaan Isolator Kaca Dengan Lapisan Zinc Sleeve Pada SUTT 150 kV Daerah Korosi Tinggi” dengan sebaik -baiknya. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa/i untuk meraih gelar sarjana (S1) di program studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa setulus hati, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada :

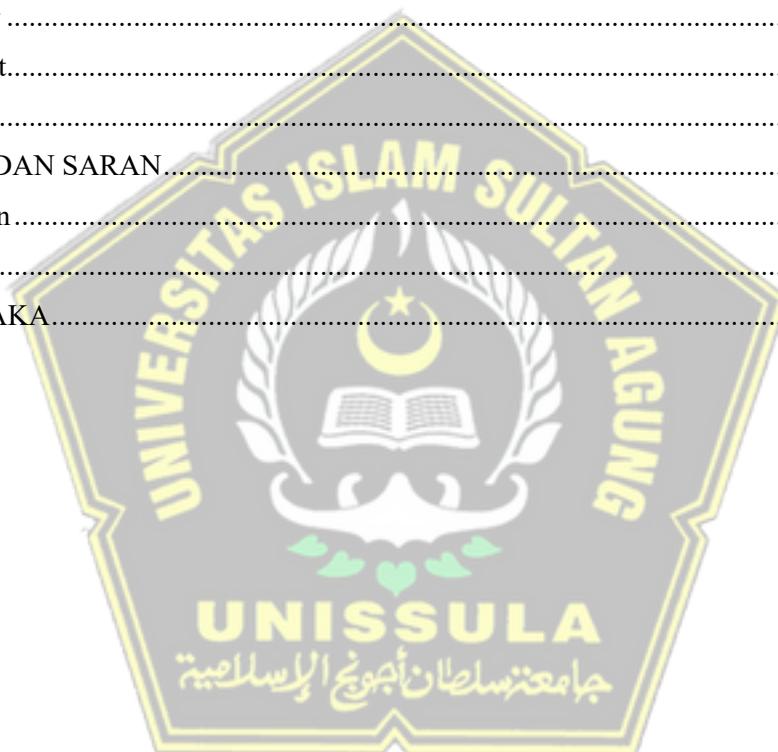
1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Terimakasih kepada Dosen Pembimbing saya Bapak Arief Marwanto yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Kedua orang tua saya tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan saya disetiap sujudnya.
8. Kepada sahabat seperjuangan saya, yaitu Mahasiswa Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri membantu dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan juga membutuhkan kritik maupun saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepan Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik. Akhirnya penulis berharap, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis juga, wallahu'alam bissowab. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....                 | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....                    | ii   |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....        | iii  |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..... | iv   |
| KATA PENGANTAR .....                               | v    |
| DAFTAR ISI.....                                    | vi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                | viii |
| DAFTAR TABEL .....                                 | ix   |
| ABSTRAK .....                                      | x    |
| BAB I .....  | 1    |
| PENDAHULUAN .....                                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....                            | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                        | 2    |
| 1.3 Pembatasan Masalah .....                       | 2    |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                        | 2    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                       | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                    | 3    |
| BAB II .....                                       | 4    |
| KAJIAN PUSTAKA & DASAR TEORI .....                 | 4    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....                         | 4    |
| 2.2 Landasan Teori.....                            | 5    |
| 2.1.1 Isolator .....                               | 11   |
| 2.1.2 Pemeliharaan Isolator.....                   | 14   |
| 2.1.3 Alasan Isolator Diganti.....                 | 17   |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                     | 19   |
| 3.1 Model Penelitian .....                         | 19   |
| 3.2 Objek Penelitian.....                          | 20   |
| 3.3      Alur Penelitian.....                      | 21   |
| 2. Penentuan Data Peralatan.....                   | 22   |
| 3. Pengujian Arus Bocor .....                      | 22   |
| 3.4 Data Penelitian.....                           | 24   |
| 3.5 Langkah Penelitian.....                        | 24   |
| 3.5.1 Observasi Penelitian.....                    | 24   |
| 3.5.2 Data.....                                    | 25   |

|  |    |
|--|----|
| 3.6 Proses Pengambilan Data .....                        | 27 |
| 3.6.1 Alat dan Bahan .....                               | 27 |
| 3.6.2 Proses Pengujian .....                             | 27 |
| 3.7 Pelaksanaan Pengujian .....                          | 27 |
| BAB IV .....   | 28 |
| HASIL DAN ANALISIS .....                                 | 28 |
| 4.1 Hasil Penelitian .....                               | 28 |
| 4.2 Data Penggunaan Isolator .....                       | 28 |
| 4.2.1 Analisis kerja.....                                | 30 |
| 4.3 Pemasangan Isolator Dengan Lapisan Zinc Sleeve ..... | 39 |
| 4.4 Perhitungan Penghematan Biaya.....                   | 40 |
| 4.4.1 <i>Saving</i> .....                                | 40 |
| 4.4.2 Benefit.....                                       | 41 |
| BAB V .....  | 42 |
| KESIMPULAN DAN SARAN .....                               | 42 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                     | 42 |
| 5.2 Saran .....  | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                     | 44 |



## DAFTAR GAMBAR

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Gambar 2 1 Hasil Pengujian Puncture Isolator[6].....  | 9                                   |
| Gambar 2 2 Alat Uji Puncture Test Isolator .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 2 3 Insulator Piring Tipe Ball-and-Socket[5].....  | 11                                  |
| Gambar 2 4Insulator Post[5] .....   | 12                                  |
| Gambar 2 5 Insulator long rod[2].....   | 12                                  |
| Gambar 2 6 Isolator dengan Lapisan zinc sleeve[8].....  | 13                                  |
| Gambar 2 7 Kondisi Korosi Isolator Didaerah sekitar Pantai[2] .....   | 16                                  |
|   |                                     |
| Gambar 3 1 Kondisi Pengujian Kelayakan Isolator .....   | 19                                  |
| Gambar 3 2 Jalur SUTT (SUTT Sanur-Pesanggaran ) .....   | 20                                  |
| Gambar 3 3 Diagram Alir Model Penelitian.....   | 21                                  |
| Gambar 3 4 Analisa Menggunakan RCPS (Root Cause Problem Solving )[9].....                                       | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 3 5 Analisia Dengan Skala Prioritas Metode Perbaikan[15]   | 24                                  |
|   |                                     |
| Gambar 4 1 Hasil Assesment Isolator Terpasang[8].....   | 29                                  |
| Gambar 4 2 Bentuk Gelombang Arus bocor Isolator Kaca dengan Lapisan Zinc Sleeve diKondisi Buatan Berbeda.....   | 32                                  |
| Gambar 4 3 Arus Bocor Isolator Kaca Dengan Lapisan Zinc Sleeve .....  | 34                                  |
| Gambar 4 4 Bentuk Gelombang Arus bocor Isolator Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve diKondisi Buatan Berbeda..... | 35                                  |
| Gambar 4 5 Arus Bocor Isolator Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve .....  | 37                                  |
| Gambar 4 6 Hidrofobisitas Isolator .....  | 37                                  |
| Gambar 4 7 Pemasangan Isolator Baru Jenis Kaca dengan Lapisan Zinc Sleeve .....                                 | 39                                  |
| Gambar 4 8 Alat Uji Korona Pada Isolator[9].....  | 40                                  |



## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2 1 Tipe Polutan .....  | 6  |
| Tabel 2 2 Tipe Isolator .....   | 7  |
| Tabel 2 3 Perbandingan Sifat Arus Bocor Isolator .....  | 8  |
| Tabel 2 4 Berat Isolator 150 kv[9] .....  | 14 |
| Tabel 2 5 Assesment kondisi isolator[5].....  | 15 |
| <br>  |    |
| Tabel 3 1 Tabel Data Referensi Metode Penelitian.....   | 24 |
| Tabel 3 2 Spesifikasi Isolator Kaca Dengan Lapisan Zinc Sleeve.....   | 25 |
| Tabel 3 3Spesifikasi Isolator Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve.....  | 26 |
| <br>  |    |
| Tabel 4 1 Tingkat Korona Pada Isolator[10] .....  | 29 |
| Tabel 4 2 Harga Isolator.....   | 30 |
| Tabel 4 3 Data Sampel Insulator .....   | 31 |
| Tabel 4 4 Perbandingan Nilai Rms Leakege Current (Irms) & Distorsi Harmonik Total (THD) Pada Isolator Kaca Zinc Sleeve .....          | 33 |
| Tabel 4 5 Perbandingan Nilai Rms Leakege Current (Irms) & Distorsi Harmonik Total (THD) Pada Isolator Keramik Tanpa Zinc Sleeve ..... | 36 |
| Tabel 4 6 Perhitungan Saving .....  | 41 |



## ABSTRAK

Permasalahan yang terjadi adalah ditemukan anomali nilai arus bocor isolator, hal ini diakibatkan oleh isolator mengalami korosi dan keretakan dan faktor cuaca. Umumnya saluran transmisi yang terletak dipinggir pantai akan mengalami salt spay dan berakibat pada timbulnya polutan. Hal ini ditemukan saat pemeliharaan tahunan Tower Jalur Sanur-Pesanggaran 1 Pole 53. Faktor lain karena lifetime komponen isolator berusia 25-30 tahun serta pemeliharaan pembersihan isolator yang kurang optimal. Dampak dari anomali tersebut dapat menyebabkan flashover dan kegagalan fungsi isolator. Untuk meningkatkan keandalan sistem penyaluran. Solusinya adalah perlu dilakukan perbaikan dengan memilih jenis isolator kaca yang memiliki zinc sleeve sebagai pelindung isolator dari kerusakan akibat peningkatan arus bocor akibat korosi dan memperpanjang lifetime isolator yang berada didaerah dekat pantai.

Penelitian ini membahas tentang pengujian kelayakkan isolator. Pengujian dilakukan dengan penentuan model isolator, pengambilan data yang ditentukan: laporan inspeksi PLN (2023) dan data isolator terpasang ,pengujian arus bocor pada isolator, dan mengetahui kondisi isolator setelah dilakukan pengujian. Objek penelitian ditentukan dengan sampel isolator SUTT Pesanggaran-Sanur 1 dengan jumlah tower 83. Hasil menunjukkan bahwa uji sample kelayakkan isolator pada pole ke 53 ditemukan bahwa isolator belum memenuhi standar dan isolator sample dengan lapisan zinc sleeve pada pole lain telah memenuhi standar IEC 60815, 2021. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian arus bocor pada isolator sample yang telah dilakukan.

*The problem that occurred was the discovery of an anomaly in the insulator leakage current value, this was caused by the insulator experiencing corrosion and cracking and weather factors. Generally, transmission lines located on the coast will experience salt spay and result in the emergence of pollutants. This was discovered during the annual maintenance of the Sanur-Pesanggaran Line Tower 1 Pole 53. Other factors were due to the lifetime of the insulator components being 25-30 years old and suboptimal insulator cleaning maintenance. The impact of this anomaly can cause flashover and insulator failure. To improve the reliability of the distribution system. The solution is to make improvements by selecting the type of glass insulator that has a zinc sleeve as a protector of the insulator from damage due to increased leakage current due to corrosion and extending the lifetime of insulators located near the coast.*

*This study discusses the feasibility testing of insulators. The test was carried out by determining the insulator model, collecting the specified data: PLN inspection report (2023) and installed insulator data, testing the leakage current on the insulator, and knowing the condition of the insulator after the test. The object of the study was determined by the SUTT Pesanggaran-Sanur 1 insulator sample with a total of 83 towers. The results showed that the insulator feasibility sample test on the 53rd pole found that the insulator did not meet the standard and the sample insulator with a zinc sleeve layer on the other pole had met the IEC 60815, 2021 standard. This is evidenced by the results of the leakage current test on the sample insulator that has been carried out.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik dibutuhkan oleh setiap manusia dalam kehidupan di era modern sekarang ini, yaitu untuk keperluan sosial, ekonomi dan kebutuhan sehari-hari. Sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang bisnis ketenagalistrikan di Indonesia, PT. PLN (Persero) bertanggung jawab untuk dapat memastikan listrik tersalurkan merata ke seluruh konsumen. Dalam upaya memastikan listrik dapat tersalurkan secara aman, andal, dan akrab. Maka diperlukan sebuah sistem penyaluran yang bisa diandalkan.

Sistem tenaga listrik terdiri dari 3(tiga) komponen yaitu: pembangkitan, saluran transmisi dan distribusi, serta konsumen. Saluran transmisi sendiri terdiri dari jaringan tower SUTT ( Saluran Udara Tegangan Tinggi). SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) memiliki beberapa tipe tegangan dari 70kV, 150kV, hingga 500kV komponen utama yaitu: Isolator berfungsi sebagai peralatan yang melindungi dan memisahkan peralatan yang berfungsi mengalirkan Listrik dengan peralatan yang tidak difungsikan mengalirkan Listrik, Tiang Tower berfungsi sebagai rumah/pondasi penopang peralatan penyaluran listrik, Konduktor berfungsi sebagai media penyalur Listrik dari system pembangkitan ke gardu induk maupun dari gardu induk ke gardu induk lain.

Permasalahan yang terjadi adalah ditemukan anomali nilai arus bocor isolator, hal ini diakibatkan oleh isolator mengalami korosi dan keretakan dan faktor cuaca. Umumnya saluran transmisi yang terletak dipinggir pantai akan mengalami salt spray dan berakibat pada timbulnya polutan. Hal ini ditemukan saat pemeliharaan tahunan Tower Jalur Sanur-Pesanggaran 1 Pole 53. Faktor lain karena lifetime komponen isolator berusia 25-30 tahun serta pemeliharaan pembersihan isolator yang kurang optimal. Dampak dari anomali tersebut dapat menyebabkan flashover dan kegagalan fungsi isolator. Untuk meningkatkan keandalan sistem penyaluran. Solusinya adalah perlu dilakukan perbaikan dengan memilih jenis isolator kaca yang memiliki zinc sleeve sebagai pelindung isolator dari kerusakan akibat peningkatan arus bocor akibat korosi dan memperpanjang lifetime isolator yang berada didaerah dekat pantai.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibuat, maka penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana menentukan kelayakan isolator jenis kaca dan keramik dengan lapisan zinc sleeve terhadap arus bocor pada jaringan SUTT 150kV ?
- b. Bagaimana melakukan analisis perbandingan arus bocor isolator dengan jenis kaca yang memiliki zinc sleeve dan Isolator jenis Keramik tanpa memiliki zinc sleeve ?
- c. Bagaimana melaksanakan *preventive maintenance* pada SUTT 150kV di daerah rawan korosi?

## 1.3 Pembatasan Masalah

- a. Sistem tenaga listrik SUTT 150kV Pesanggaran – Sanur 1 8kms 81 tower yang menjadi objek adalah Analysis Upaya Meningkatkan keandalan Isolator terhadap arus bocor.
- b. Penelitian ini akan diperlihatkan perbandingan hasil arus bocor beberapa jenis isolator yang terpasang pada daerah korosi tinggi.
- c. Pembahasan hanya seputar Isolator dengan tambahan Zinc sleeve dan Non zinc Sleeve, tidak akan membahas jenis isolator lainnya.

## 1.4 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui nilai Arus Bocor Isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve dan isolator serupa tanpa lapisan zinc sleeve, beserta keuntungan dan kekurangannya.
- b. Mengetahui kinerja Isolator dengan zinc sleeve terhadap arus bocor untuk memastikan peralatan dapat bekerja maksimal sesuai dengan usia yang diharapkan.
- c. Mengetahui Preventive Maintenance yang paling sesuai untuk dilaksanakan pada SUTT 150kV didaerah rawan korosi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

- a. Sebagai langkah pencegahan terjadinya gangguan system transmisi dan mengamankan peralatan dari kegagalan isolator terhadap arus bocor akibat korosi.
- b. Memberikan rasa aman untuk masyarakat dan pihak PT PLN Persero.
- c. Dapat menentukan metode yang tepat untuk digunakan sebagai pengamanan system tenaga listrik.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Memberikan gambaran secara garis besar, dalam hal ini dijelaskan isi dari masing-masing bab dari laporan ini. Sistematika penulisan dalam pembuatan laporan ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan penelitian, manfaat dan tujuan penelitian, keaslian penelitian, sistematis penulisan.

### **BAB II KAJIAN PUSTAKA & DASAR TEORI**

Berisi tentang materi hasil – hasil penelitian sesuai topik yang dibuat dengan mengadaptasi laporan – laporan, report jurnal, prosedur, makalah atau referensi lain. Serta menuliskan kelebihan serta kekurangan di masing – masingnya.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Berisi tentang model penelitian, alat bahan yang digunakan bisa menggunakan software/hardware sebagai media pendukung, memberikan prosedur penelitian, melakukan simulasi atau tempat eksperimen serta mendapatkan hasil dari suatu penelitian yang dilakukan.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISIS**

### **BAB V PENUTUP**

Bab yang mendeskripsikan penyelesaian Tugas Akhir, dapat dibuat pertimbangan dan rekomendasi berdasarkan temuan data penelitian dan analisis yang dilakukan.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA & DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Beberapa penelitian terdahulu tentang Analysis Penggunaan Isolator dengan Lapisan Zinc Sleeve pada SUTT 150 kV Daerah Korosi Tinggi telah dilakukan oleh para peneliti, antara lain :

- a. Studi Penggunaan Isolator Polimer 150 KV di Daerah Berpolutan Pada PT PLN (Persero) Jalur Penghantar Sutt 150 KV Porsea Tarutung. Pemasangan Isolator polimer dilakukan di daerah-daerah yang berpolutan tinggi yaitu yang mengandung unsur kimia, gas, dan garam atau unsur lain yang mengakibatkan mudah terjadi kerusakan pada isolator polimer, perlu dilakukan pengecekan secara kontinu dan apabila terjadi kerusakan, segera diganti dengan yang baru agar tidak terjadi kerusakan yang lebih fatal. Dampak dari daerah yang tinggi polutan-nya, maka isolator polimer akan lebih mudah rapuh dan rusak akibat unsur senyawa kimia tersebut berakibat pada tekanan listrik secara terus menerus yang pada akhirnya menyebabkan kerusakan isolasi, atau terjadinya penurunan sifat listrik maupun sifat mekanis yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi, akibat kegagalan ini akan menimbulkan percikan api apabila terjadi gangguan atau polutan benda padat seperti gesekan pada benang layangan yang basah, sementara pemain layangan juga dengan tangan basah, akibatnya terjadi arus singkat dan membahayakan bagi orang di sekitar arus 150 KV. Oleh sebab itu, upaya yang dilakukan PT PLN Persero sebelum pemasangan isolator perlu pengetahuan kualitas dari suatu isolasi maka diperlukan pengujian untuk mengukur kualitas suatu isolasi sehingga dalam pengaplikasianya, masalah yang timbul dapat dicegah dan dapat dihindari[1].
- b. Kerusakan Isolator Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Akibat Pengaruh Polutan (Kondisi Kering dan Basah). Isolator merupakan suatu alat pelindung kawat saluran transmisi yang banyak terpasang pada sistem tenaga listrik, baik pada sisi saluran pembangkit, saluran transmisi maupun pada saluran distribusi tenaga listrik. Secara konstruksi isolator banyak ditemui pada sisi saluran transmisi udara (overhead lines), gardu induk maupun pada panel pembagi daya listrik 3 phasa. Isolator kawat transmisi pada umumnya terbuat dari bahan porselin, jika mengalami gangguan

akan mudah retak dan pecah..Penyebab kerusakan isolator terutama pada permukaan isolator sehingga menurunkan kualitas kinerja isolator sebagai alat pelindung dan tempat menggantungnya kawat transmisi yaitu pengaruh polutan yang menempel pada permukaan isolator sehingga menimbulkan keretakan dan tembusnya tegangan pada permukaan isolator lalu mengalirlah arus bocor pada saluran transmisi tersebut[2].

- c. Penggantian Temuan Isolator Korosi pada Line Asam-Asam Arah Cempaka. Penggantian isolator dan aksesorisnya dilakukan karena berdasarkan hasil assasment PDKB, tingkat korosi yang ditemukan sudah lebih dari 60%. Total penggantian isolator yang dilakukan pada Tower SUTT 150 Line Asam-asam arah Cempaka, sebanyak 43 keping (pada Tower No. 43 fasa R), masing-masing 14 keping (pada Tower No 43 fasa S & T), 2 keping (pada Tower No. 109 fasa R), dan masing-masing 14 keping (pada Tower No. 88 fasa R & S). Faktor penyebab isolator korosi bisa disebabkan karena faktor lingkungan di sekitar Tower, seperti posisi Tower di sekitar daerah pantai, yang mana udara di sekitar Tower tersebut mengandung kadar garam, sehingga mempercepat proses korosi pada pin isolator Transmisi. Selain itu, bisa juga diakibatkan karena posisi Tower yang dekat dengan daerah polutan seperti pertambangan, sehingga menyebabkan banyak polutan yang menempel pada isolator dan aksesorisnya, yang lama kelamaan menyebabkan terjadinya korosi pada aksesoris tersebut[3].

## 2.2 Landasan Teori

Dalam penelitian ini, tahap pertama adalah kajian terhadap arus bocor pada kondisi eksisting isolator yang telah terpasang, tahap kedua adalah desain dan penerapan pemasangan isolator dengan lapisan zinc sleeve pada daerah korosi tinggi. Terakhir dilakukan simulasi, pengujian dan analisa dari kondisi isolator dengan lapisan zinc sleeve yang telah diaplikasikan terhadap arus bocor [4]. Setelah menganalisa dan mempertimbangkan penyebab tingginya nilai arus bocor isolator akibat korosi pada *sisi ballpin isolator* dikarenakan letak tower berada di dekat pantai (daerah korosi tinggi) serta solusi penggantian menggunakan isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve pada sisi bolt yang dipasang dalam pekerjaan penggantian *isolator*. Sebelum lebih jauh membahas mengenai penggantian menggunakan isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve dan dampak terhadap arus bocor isolator dalam proses penggantian isolator, penulis membahas terlebih dahulu hal-hal yang mendasar dan berkaitan erat dalam

penggunaan zinc sleeve untuk penanganan kerusakan isolator dari kenaikan nilai arus bocor akibat korosi pada isolator. Guna melengkapi serta memperdalam pemahaman mengenai kelayakkan penggunaan isolator dengan lapisan zinc sleeve dalam proses penggantian isolator didaerah korosi tinggi (didekat Pantai ) seperti penghantar SUTT sanur-pesanggaran 1 Pole 53.

a. Pengujian Arus Bocor

Pengujian arus bocor dilakukan di ruang operasi dengan aplikasi kabut dan polutan yang diaplikasikan pada permukaan isolator. Ada tiga macam kabut yang diterapkan, yaitu tanpa kabut, kabut bersih, dan kabut garam, dengan karakteristik seperti terlihat pada tabel 2.1 Kondisi tanpa kabut dan garam kabut berbeda dalam kelembapannya, sedangkan kabut garam memiliki konduktivitas yang lebih besar dibandingkan kabut bersih karena kehadiran garam dalam kabut. Konduktivitas yang diberikan pada kabut garam adalah 5 mS, yang sesuai dengan standar IEC 60507-2013 .

*Tabel 2 1 Tipe Polutan*

| Tipe Kabut Dan Polutan | Deskripsi                      |
|------------------------|--------------------------------|
| Tidak ada polutan      | Humidity 60%-65%               |
| Polutan Sedang         | Humidity 77%-83%               |
| Polutan Tinggi         | Humidity 77%-83% with NaCl 5mS |

Nilai bobot polutan diambil berdasarkan standar IEC 60815-2008, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5. Isolator keramik punya jarak rambat yang lebih jauh dibandingkan jenis kaca. Hal ini membuat jumlah polutan menjadi massal lebih dari isolator jenis kaca.

*Tabel 2 2 Tipe Isolator*

| Tipe Isolator             | ESDD (mg)         |                   | NSDD (mg)         |                   |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                           | Polutan<br>Sedang | Polutan<br>Tinggi | Polutan<br>Sedang | Polutan<br>Tinggi |
| Kaca dengan Zinc Sleeve   | 128.112           | 512.448           | 384.336           | 2,562.24          |
| Keramik Tanpa Zinc Sleeve | 212.273           | 849.092           | 636.819           | 4,245.46          |

Note. ESSD (Equivalent Salt Density Deposit) : tingkat konduktifitas polutan yang menempel pada isolator

NSSD (Non-Soluble Deposit Density) : kadar polutan pada isolator

Hasil arus bocor dari jenis sampel isolator, Isolator keramik dan kaca memiliki nilai THD yang serupa, berkisar antara 11% hingga 31% dengan bentuk gelombang tipikal serupa. Perbedaannya adalah timbulnya busur api pada kedua isolator tersebut, yang dipengaruhi oleh kabut dan polutan yang diaplikasikan pada isolator. Kebocoran arus meningkat besar Arus isolator keramik dan kaca disebabkan oleh kondisi kabut yang berbeda. Garam bersifat konduktif, karena garam dapat meningkatkan konduktivitas air, sehingga mempercepat reaksi oksidasi pada logam. Polutan menambah pengaruh arus bocor isolator keramik dan kaca, seperti terlihat pada peningkatan aktivitas busur dan THD yang besar. Selain itu, isolator Kaca dengan Lapisan Zinc Sleeve tidak mengalami keadaan flashover, sedangkan isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve isolator mengalaminya. Keadaan flashover dalam hal ini ditentukan oleh terjadinya asimetris bentuk gelombang, perubahan besaran arus bocor yang sangat besar, dan penampakannya banyak busur pada bentuk gelombang. Isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve beroperasi lebih stabil bila terdapat polutan dan kabut dibandingkan dengan isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve[5].

*Tabel 2 3 Perbandingan Sifat Arus Bocor Isolator*

| Kategori                | Isolator Kaca                            | Isolator Keramik                          |
|-------------------------|--|---|
| RMS Leakage Current (A) | $6.67 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}$ | $1.6 \times 10^{-4} - 9.7 \times 10^{-4}$ |
| THD Leakage Current     | 10.68% – 24.3%                           | 13.12% – 30.71%                           |
| Fog Effect              | Sedikit Terdampak                        | Terdampak                                 |
| Pollutant Effect        | Sedikit Terdampak                        | Terdampak                                 |
| Flashover               | Tidak Terjadi                            | Terjadi                                   |

Penyebab terjadinya percepatan korosi berupa pembersihan isolator yang kurang optimal selain dari data diatas, dapat dianalisa bahwa terjadi percepatan munculnya korosi akibat dari korona yang mengikis lapisan galvanis dan lingkungan jalur penghantar yang berdekatan dengan laut selatan indonesia yang memang langsng menuju samudera. Berdasarkan hasil pengamatan visual saat climb up inspection dan dari hasil pengukuran tahanan isolasi pada lampiran. Bahwa telah terjadi korosi pada sisi ball isolator. Korosi pada sisi ball isolator disebabkan oleh : kondisi lingkungan dekat laut dan lifetime material existing mencapai 15-20 tahun. Adanya pantai didekat tower serta angin laut yang membawa uap air yang menempel pada sisi ball isolator sehingga mengakibatkan penggaraman pada isolator yang telah mengalami pengelupasan galvanis akibat korona, apabila terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan korosi. Korosi tersebut akan menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan mekanik isolator, kemudian selanjutnya akan merusak fungsi isolator guna menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat insulator dan konduktor penghantar, yang akan menyebabkan konduktor penghantar maupun insulator dan konduktor.

#### b. Pengujian Korosi

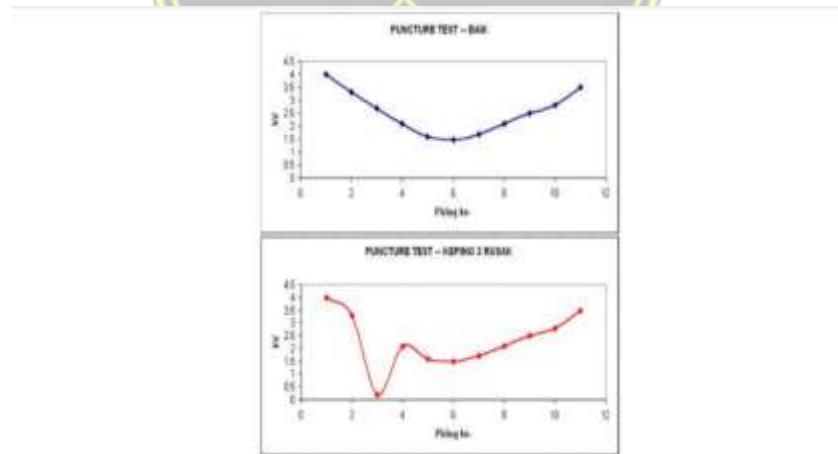
Pengujian korosi isolator yang mengalami kerusakan juga dapat dilakukan dengan Puncture Test dengan memberikan tegangan impulse pada piring insulator. Namun, definisi puncture test di lapangan adalah pengukuran distribusi potensial antar keping insulator keramik dalam satu renceng menggunakan Alat seperti gambar 2.1[5].



salah satu contoh alat yang digunakan di PLN

*Gambar 2 1 Alat Uji Puncture Test Isolator*

Evaluasi terhadap pengujian ini adalah dengan melihat kurva distribusi potensial antar keping insulator. Insulator rusak (breakdown) akan ditunjukkan dengan nilai tegangan keping insulator yang mengalami penurunan dibandingkan nilai tegangan keping insulator yang lain dalam satu renceng. Gambar di atas menunjukkan hasil ukur masing-masing keping insulator dalam satu renceng dalam kondisi normal, sedangkan gambar kedua menunjukkan hasil ukur pada keping nomor 3 mengalami kerusakan (breakdown). Dalam kegiatan Pemeliharaan SUTT/ SUTET, selain untuk mengetahui kondisi insulator, hasil pengujian kebocoran insulator (puncture test) juga digunakan sebagai standar untuk menentukan apakah suatu pekerjaan pemeliharaan insulator secara bertegangan (On line) dapat dilakukan atau tidak. Bila hasil ukur kebocoran insulator menunjukkan bahwa lebih dari  $50\% + 1$  jumlah insulator dalam satu renceng tidak sesuai standar, maka pekerjaan pemeliharaan insulator harus dilaksanakan secara tidak bertegangan (Off line) seperti gambar 2.2 dibawah



*Gambar 2 2 Hasil Pengujian Puncture Isolator[6]*

Cara menentukan insulator rusak secara elektrik sebagai berikut:

- (i) Insulator dianggap rusak jika pembacaannya 30 % atau lebih di bawah bentuk karakteristik kurva normal insulator lain dalam satu string;
- (ii) Jika terdapat insulator yang rusak maka nilai insulator sesudahnya akan meningkat sebagai kompensasi dari insulator yang rusak tersebut.
- (iii) Jika ada beberapa insulator yang rusak, bandingkan hasil pengukuran dengan hasil pengukuran string lain pada penghantar yang sama untuk melihat deviasi bentuk kurva.

Terjadinya korosi pada sisi ball isolator juga akan dipercepat oleh pemilihan jenis isolator yang kurang sesuai dengan wilayah pada jaringan SUTT dan partial discharge (korona). Data uji coba jenis isolator pada daerah yang berdekatan dengan pantai dapat dilihat pada data tersebut ada keterangan tentang status isolator, yaitu isolator dengan jenis polimer malah mengalami korosi dibagian kanal U dan isolator dengan jenis keramik memiliki tingkat korona yang lebih besar dari isolator jenis kaca hal ini karena ketebalan warna isolator jenis keramik yang lebih tebal sehingga tidak dapat ditembus sinar matahari sehingga sulit mengeliminasi debu terbukti pemasangan isolator bermerk sediver jenis kaca yang menggunakan zinc sleeve lebih dapat menambah umur peralatan 5-10 tahun dari prediksi. Solusi untuk menghindari terjadinya korosi pada sisi ball isolator tersebut adalah selain melakukan pembersihan isolator yang optimal adalah menggunakan isolator dengan lapisan zinc sleeve pada jalur penghantar SUTT yang daerahnya berdekatan dengan pantai seperti diwilayah APP Bali. Serta melakukan pelapisan tambahan pada isolator yang baru dipasang atau mengalami penggantian.

### 2.1.1 Isolator

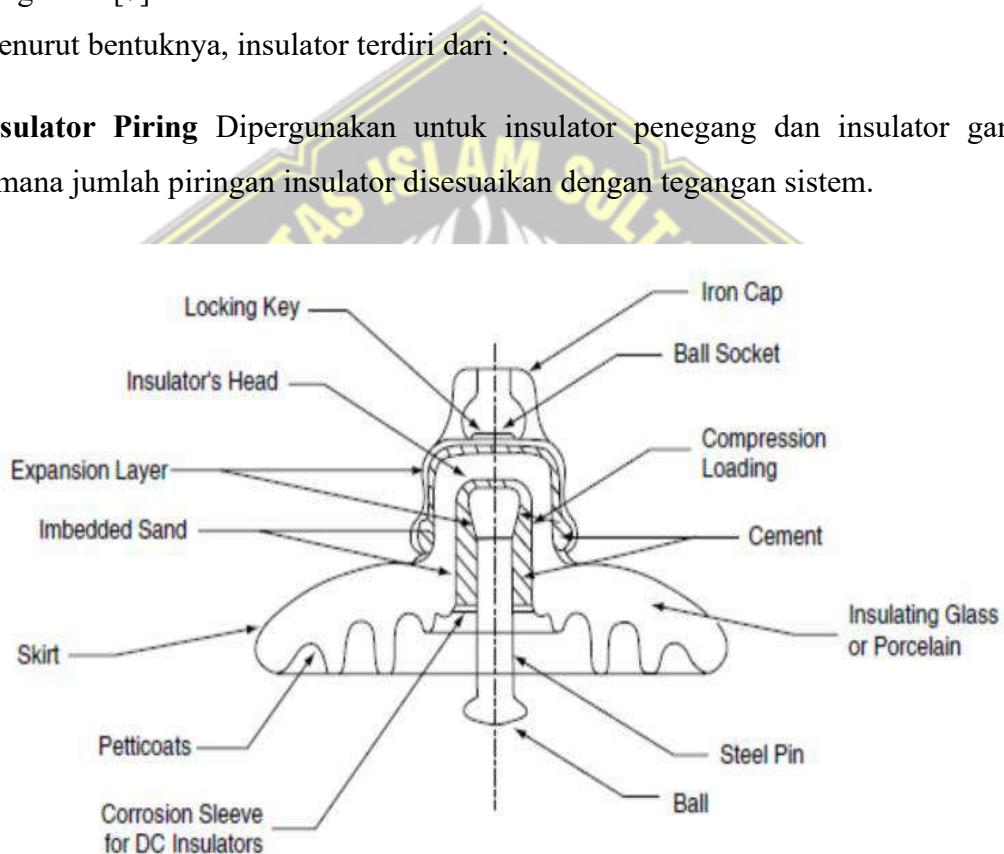
Isolator adalah perangkat yang mempunyai 2 fungsi yaitu sebagai penyekat dari segi elektris dan sebagai penopang dari segi mekanis[4].

- Isolator dari segi elektris berfungsi mengisolasi antara bagian konduktor yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan yaitu tower / ground.
- Sedangkan dari segi mekanik berfungsi menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun berat isolator dan konduktor penghantar.

Karakteristik mekanik Insulator harus mempunyai kuat mekanik guna menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat insulator dan konduktor penghantar[7].

Menurut bentuknya, insulator terdiri dari :

**Insulator Piring** Dipergunakan untuk insulator penegang dan insulator gantung, dimana jumlah piringan insulator disesuaikan dengan tegangan sistem.



Gambar 2 3 Insulator Piring Tipe Ball-and-Socket[5]

**Insulator Tipe Post** Dipergunakan sebagai tumpuan dan memegang bagi konduktor diatasnya untuk pemasangan secara vertikal dan sebagai insulator dudukan.Biasanya terpasang pada tower jenis pole atau pada tiang sudut. Dipergunakan untuk memegang dan menahan konduktor untuk pemasangan secara horizontal.



Gambar 2 4 Insulator Post[5]

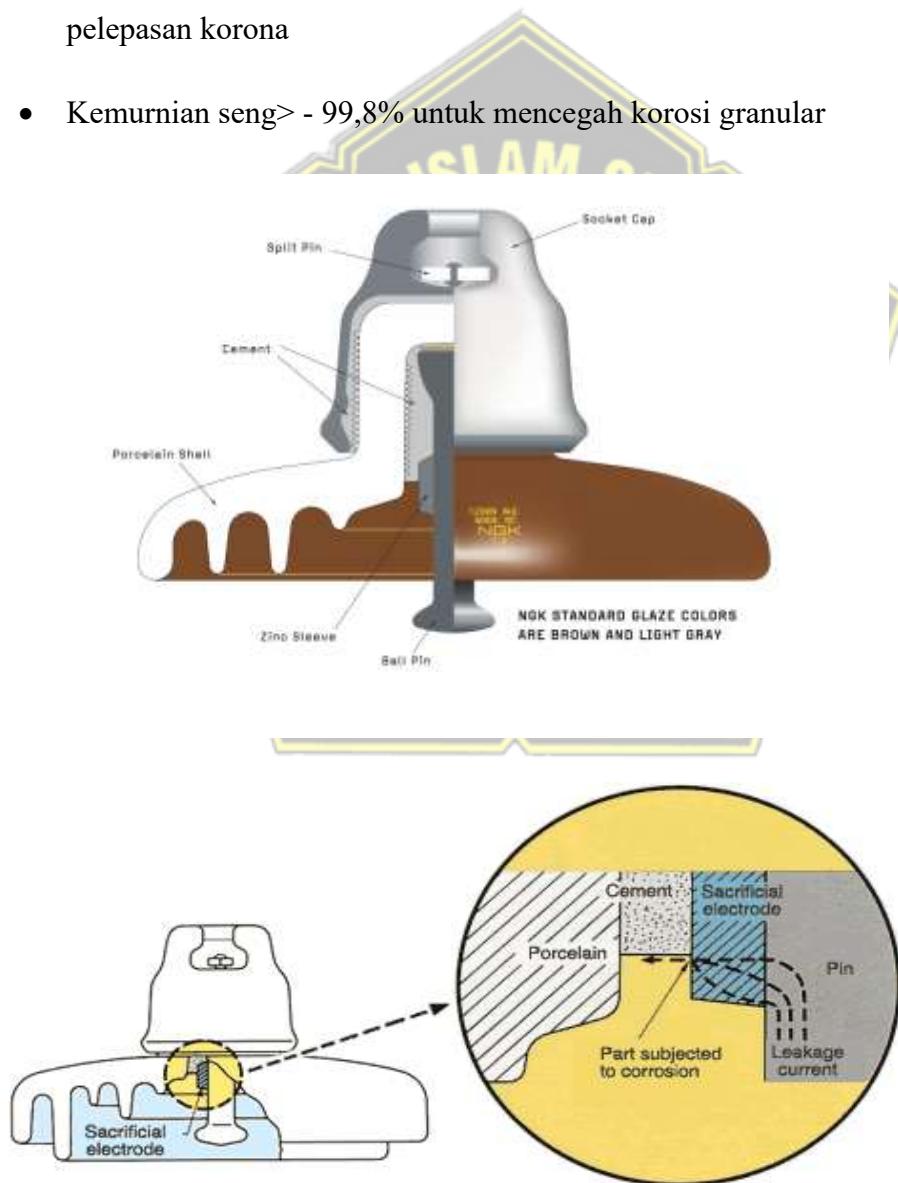
**Insulator long rod** adalah insulator porselin atau komposit yang digunakan untuk beban tarik.



Gambar 2 5 Insulator long rod[2]

**Insulator dengan zinc sleeve** Insulator yang dilengkapi dengan lengan seng pelindung untuk mengatasi kerusakan sisi ball isolator karena korosi. Zinc sleeve merupakan lapisan seng tambahan pada isolator yang berfungsi sebagai pengaman tambahan isolator dari korosi. Adapun kelebihan zinc sleeve pada isolator ialah[7] :

- Memiliki lapisan Galvanis positif
- Perbedaan potensial yang besar dari zat besi
- Elektroda pengotor pada batas semen
- Area lengan berikat: Min. 80% area antarmuka lengan / pin untuk mencegah pelepasan korona
- Kemurnian seng > - 99,8% untuk mencegah korosi granular



Gambar 2 6 Isolator dengan Lapisan zinc sleeve[8]

### 2.1.2 Pemeliharaan Isolator

Tujuan pemeliharaan *ISOLATOR* adalah untuk mempertahankan *performance* peralatan dan mengetahui hasil pengujian semua komponen yang ada dalam ISOLATOR. Sesuai SK Dir 520 PLN Tahun 2015, pemeliharaan ISOLATOR dilakukan bersamaan Pengencangan Mur / baut / tower, klem dan pengukuran jarak (GAP) Arching Horn yaitu 5 tahunan atau dapat juga dilakukan jika terjadi anomali pada ISOLATOR, misal Climb up inspection oleh Climber dengan cara memanjat tower pada SUTT/SUTETI yang dalam keadaan bertegangan ditemukan anomali korosi pada *sisi ball* ISOLATOR. Ada 2 pengujian yang digunakan untuk mengetahui kondisi ISOLATOR, yaitu[5]

1. Perhitungan beban isolator
2. Asesmen isolator....

### 3. Perhitungan Beban Isolator

Perhitungan beban isolator diketahui dengan memperoleh data dari pabrikkan isolator dan pengukuran saat isolator dipasang. Penggunaan isolator pada SUTT 150 kv berjumlah 11-12 keping isolator per satu string. Berat isolator yang terpasang biasa diketahui seperti Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Berat Isolator 150 kv[9]

| NO | Jenis Isolator  | Berat  | 1 String    | Total   |
|----|-----------------|--------|-------------|---------|
| 1  | NGK Normal      | 4,6 kg | 4,6 kg x 12 | 55,2 kg |
| 2  | NGK Antifog     | 6,3 kg | 6,3 kg x 12 | 75,6 kg |
| 3  | Sediver Normal  | 4,6 kg | 4,6 kg x 12 | 55,2 kg |
| 4  | Sediver Antifog | 6,6 kg | 6,6 kg x 12 | 79,2 kg |

#### 4. Asesmen kondisi Isolator (Kaca dan Non-Kaca) melalui inspeksi Climb Up

Dari Tabel 2.5 menunjukkan tindakan ataupun perbaikan yang harus dilaksanakan apabila isolator telah terindikasi mengalami korosi. Selain tindakan tersebut dilakukan juga preventive maintenance untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja yang optimal sesuai umur teknisnya, melalui inspeksi secara periodik dan pengujian fungsi atau melakukan pengujian dan pengukuran untuk mendiagnosa kondisi peralatan.

Tabel 2 5 Assesment kondisi isolator[5]

| <b>Jenis<br/>Inspeksi</b> | <b>No</b> | <b>Kondisi</b>                            | <b>Index<br/>Kondisi</b> | <b>Rekomendasi Tindak Lanjut</b> |                         |
|---------------------------|-----------|---|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|
|                           |           |   |                          | <b>Tindakan</b>                  | <b>Jangka<br/>Waktu</b> |
| <i>Climb Up</i>           | 1         | Normal                                    | 9                        | -                                | -                       |
|                           | 2         | Level Korosi<br>(40% - 60%)               | 6                        | Pengamatan                       | 3 bulanan               |
|                           | 3         | Level Korosi<br>(> 60%)                   |                          | Penggantian                      | Segera                  |
|                           | 4         | Ball & Pin tidak<br>terhubung<br>sempurna | 1                        | Perbaikan                        |                         |

Pemeliharaan ini dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu[5]:

- Pemeliharaan Rutin (Routine Maintenance) : In Service Visual Inspection untuk mendapatkan indikasi awal ketidaknormalan peralatan (anomali) sebagai bahan untuk melakukan Evaluasi Level 1 serta sebagai informasi bagi pengembangan atau tindakan pemeliharaan.

- Pemeliharaan Berbasis Kondisi (Condition Based Maintenance) : pengujian yang dilakukan saat peralatan operasi (bertegangan) untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan peralatan. Untuk SUTT/ SUTET, uraian kegiatan yang dilaksanakan meliputi pengujian Thermovisi, Puncture Insulator, ITECE ( Insulator Tester Camera ) pengecekan daya elektrik dan melakukan cek visual insulator dalam waktu bersamaan secara live.[9]

Secara umum penyebab isolator diganti karena isolator mengalami penurunan kemampuan isolasinya, namun di penghantar Sanur – Pesanggaran 1 tower 53 dilakukan penggantian karena *sisi ballpin* isolator mengalami korosi. Beserta penggantian *shackle* sekaligus dilakukan penggantian isolator, berikut beberapa beberapa gambar temuan korosi pada isolator[3]



Gambar 2 7 Kondisi Korosi Isolator Didaerah sekitar Pantai[2]

### **2.1.3 Alasan Isolator Diganti**

Secara umum penyebab isolator diganti karena isolator mengalami penurunan kemampuan isolasinya, namun di pengantar Sanur – Pesanggaran 1 tower 53 dilakukan penggantian karena *sisi ballpin* isolator mengalami korosi. Beserta penggantian *shackle* sekaligus dilakukan penggantian isolator, berikut beberapa faktor yang menyebabkan isolator diganti meliputi[5]

Korosi

Korosi (perkaratan) merupakan kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang tidak dikehendaki. Pada isolator yang rentan terkena korosi adalah bagian *ball socket* dan *ball eye*, dan pada *accesoris* sisi cold adalah *shackle*. Faktor yang menyebabkan korosi meliputi

## 1. Faktor Bahan

- Logam

Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Ada definisi lain yang mengatakan bahwa korosi adalah kebalikan dari proses ekstraksi logam dari bijih mineralnya. Contohnya, bijih mineral logam besi di alam bebas ada dalam bentuk senyawa besi oksida atau besi sulfida, setelah diekstraksi dan diolah, akan dihasilkan besi yang digunakan untuk pembuatan baja atau baja paduan. Selama pemakaian, baja tersebut akan bereaksi dengan lingkungan yang menyebabkan korosi (kembali menjadi senyawa besi oksida)[10].

## 2. Faktor Lingkungan

- Berada di dekat pantai / laut.

Air laut merupakan faktor yang dapat mempercepat korosi. Proses ini disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam dimana larutan garam lebih konduktif sehingga menyebabkan laju korosi juga akan lebih tinggi. Sedangkan pada kondisi kelautan garam dapat mempercepat laju korosi logam karena larutan garamnya lebih konduktif. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran elektron sehingga laju korosi meningkat[10].

Peristiwa korosi pada kondisi asam, yakni pada kondisi  $\text{pH} < 7$  semakin besar, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katode yaitu[10]:



Adanya reaksi reduksi tambahan pada katode menyebabkan lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar.

- **Berada diperkotaan**

Polusi perkotaan banyak mengandung bakteri dapat menciptakan korosi. Tipe bakteri tertentu dapat mempercepat korosi, karena mereka akan menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), selama masa putaran hidupnya.  $\text{CO}_2$  akan menurunkan pH secara berarti sehingga menaikkan kecepatan korosi.  $\text{H}_2\text{S}$  dan besi sulfida ( $\text{Fe}_2\text{S}_2$ ) hasil reduksi sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) oleh bakteri pereduksi sulfat pada kondisi anaerob, dapat mempercepat korosi bila sulfat ada di dalam air. Zat-zat ini dapat menaikkan kecepatan korosi. Jika terjadi korosi logam besi maka hal ini dapat mendorong bakteri besi (iron bacteria) untuk berkembang, karena mereka senang dengan air yang mengandung besi[10].

### **3. Faktor**

- **Hujan**

Hujan dapat menjadi salah satu faktor terjadinya korosi karena kelembaban yang terjadi akibat cuaca yang dingin sehingga menyebabkan air yang merupakan elektrolit yang memicu reaksi elektrokimia sehingga menyebabkan korosi perbedaan tersebut akibat aliran air pada logam tersebut. Karena intensitas hujan yang tinggi saat musim hujan menyebabkan kelembaban dimusim hujan sendiri dibalik jarang menjadi salah satu pemasalahan percepatan korosi untuk sisi ball isolator

- **Kemarau**

Kondisi cuaca kemarau merupakan salah satu kondisi penyebab rentannya terjadi percepatan korosi hal ini disebabkan oleh Semakin tinggi suhu, semakin cepat korosi terjadi. Hal ini sebagaimana laju reaksi kimia meningkat seiring bertambahnya suhu. Suhu didaerah dekat pantai yang apabila mengalami musim kemarau akan semakin cepat meningkat menyebabkan semakin cepat pula proses terjadinya korosi pada sisi steel pin isolator yang memang berbahan logam[10].

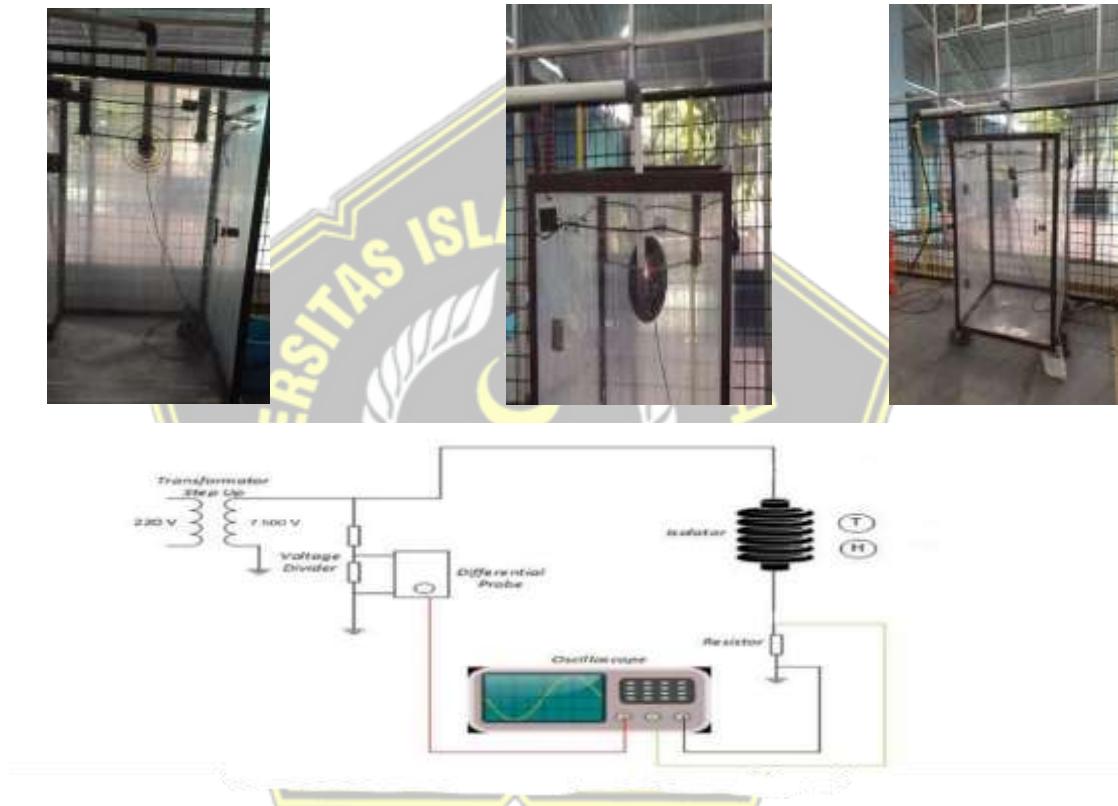
Korosi juga memiliki beberapa jenis sehingga perlu kia amati apa saja jenis korosi yang sering terjadi pada jalur yang berada didekat laut/pantai di APP Bali. Jenis-jenis korosi sebagai berikut :

## BAB III

### METODE PENELITIAN

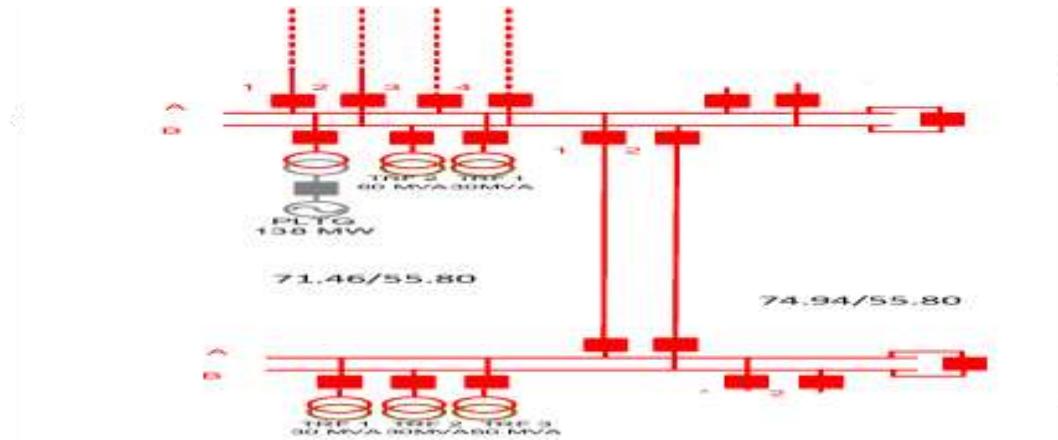
#### 3.1 Model Penelitian

Model Penelitian untuk tugas akhir ini dengan melakukan pengujian arus bocor, pengujian dilakukan di ruang operasi dengan aplikasi kabut dan polutan yang diaplikasikan pada permukaan isolator. Pengujian dengan metode step-up tegangan dari 10 hingga 40 kV tegangan AC 50 Hz dengan kenaikan 10 kV.



Gambar 3.1 Kondisi Pengujian Kelayakan Isolator

Model Penelitian ini menggunakan objek Isolator 150kV pada SUTT Pengantar Pesanggaran – Sanur 1, Denpasar, Bali. Dimana SUTT Pesanggaran – Sanur 1 berada dikawasan dekat dengan pantai yang langsung menghadap samudra hindia diselatan pulau bali, menjadikan daerah tersebut memiliki tingkat korosi yang tinggi. Isolator yang terpasang dengan jenis kaca dengan lapisan zinc sleeve akan dilakukan perbandingan kelayakkannya dengan isolator jenis keramik ataupun isolator kaca yang tanpa memiliki lapisan zinc sleeve

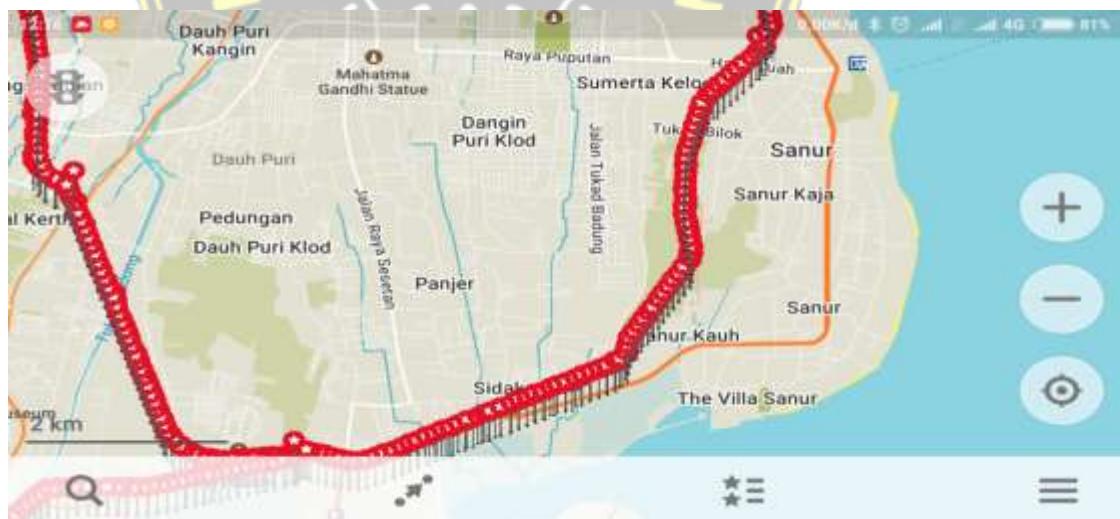


Gambar 3 2 Jalur SUTT (SUTT Pesanggaran-Sanur )

### 3.2 Objek Penelitian

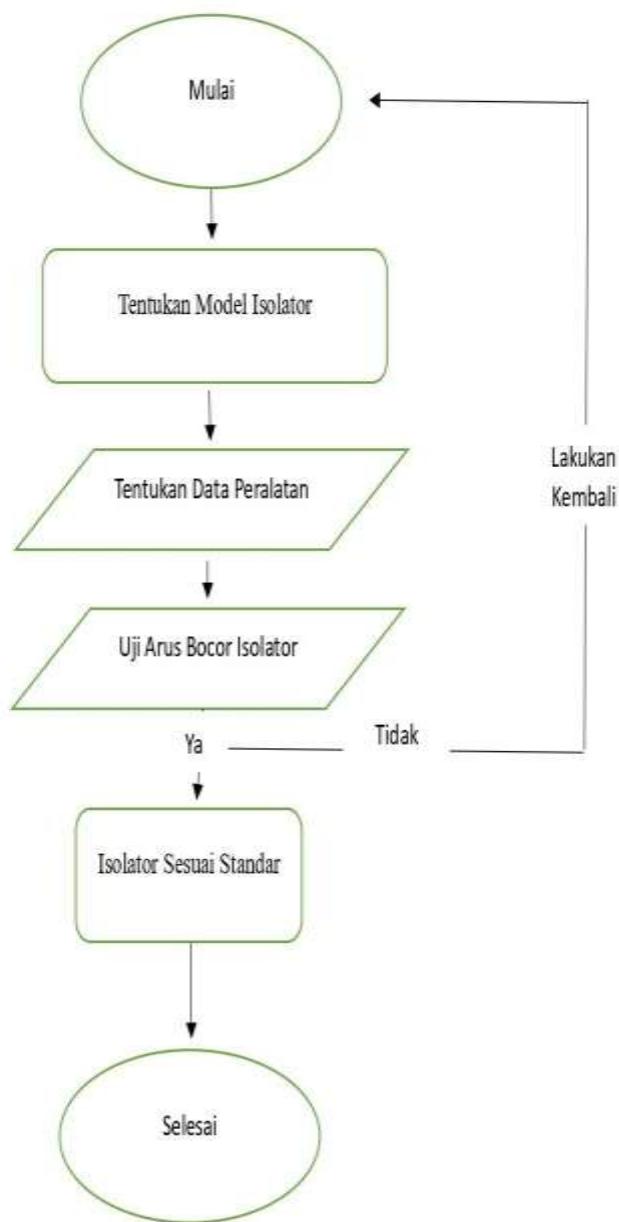
Dari gambar 3.1, dapat dilihat bahwa objek penelitian ini jalur penghantar sanur-pesanggaran memang berada didaerah dekat pantai. GI sanur sendiri terletak di Jl. Raya Hangtuah, Sanur Kaja, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80572, Indonesia dan GI Pesanggaran terletak di Jl. Pendungan, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80222, Indonesia yang berada di bawah ruang lingkup PT. PLN (Persero) UPT Bali. Dengan jenis isolator terpasang sebagai berikut :

- Isolator Kaca dengan lapisan zinc sleeve
- Isolator Keramik / Kaca tanpa lapisan zinc sleeve



Gambar 3 3 Lokasi Objek Penelitian

### 3.3 Alur Penelitian

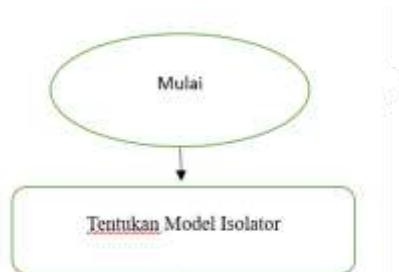


Gambar 3.4 Diagram Alir Model Penelitian

#### 1. START: Identifikasi Masalah

- Titik awal penelitian: Anomali kisulator di Tower 53 SUTT 150 kV Sanur-Pesanggaran 1.
- **Data Pendukung:** Laporan inspeksi PLN (2023) menemukan korosi lokal di sisi *ball isolator*.

Langkah:



Penjelasan:

- **Model Isolator Pengujian**
  - Isolator Kaca [11].
  - Isolator Keramik.

2. Penentuan Data Peralatan

Langkah:



Penjelasan:

- **Data Peralatan**
  - Laporan inspeksi PLN (2023).
  - Data Isolator Terpasang.

3. Pengujian Arus Bocor

Langkah:



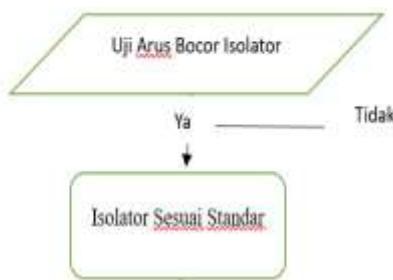
### Penjelasan:

- Arus bocor  $>2.5$  mA memicu *flashover* (IEC 60815, 2021)
- Risiko patah isolator saat beban angin tinggi (ASCE, 2020).

Dari hasil uji arus bocor bandingkan kondisi isolator dan tentukan Solusi serta metode pemeliharaan

### 4. Evaluasi Pengujian

#### Langkah:



### Penjelasan:

- Pengujian sesuai standar IEC 60815:
  - Parameter: *Leakage current*  $<0.5$  mA, resistansi permukaan  $>500$  M $\Omega$ .
- Jika gagal, lakukan:
  - Penyesuaian ketebalan zinc sleeve atau frekuensi pembersihan.
- **Preventif :**
  - Coating graphene (Al-Sulaiman, 2021) → Perlindungan tambahan.
- **Korektif :**
  - Isolator kaca + zinc sleeve (Liu et al., 2023) → Kurangi korosi 50%.
- **Maintenance (M):**
  - Robot pembersih (Yan et al., 2022) → Kontrol deposit garam.

### 5. Output

**Langkah:** Reliable Transmission System

#### Hasil yang Diharapkan:

- Isolator tahan korosi dan tidak terdampak arus bocor (Lifetime  $>30$  tahun).
- Pengurangan biaya pemeliharaan 40% (PLN, 2023).

Pengujian yang dilakukan mengikuti dari beberapa referensi yang didapatkan seperti pada Tabel 3.1.

*Tabel 3 1 Tabel Data Referensi Metode Penelitian*

| Langkah          | Referensi        | Temuan Kunci                  |
|------------------|------------------|-------------------------------|
| Salt Deposition  | Zhang 2020       | Mekanisme elektrokimia korosi |
| Zinc Degradation | PLN 2023         | Data lapangan usia isolator   |
| Nano-Coating     | Al-Sulaiman 2021 | Efektivitas graphene          |
| Leakage Test     | IEC 60815        | Standar pengukuran            |

### 3.4 Data Penelitian

Dari Percobaan yang dilakukan ditemukan 2 analisis yang paling efektif untuk menentukan penggunaan isolator dengan lapisan zinc sleeve pada daerah korosi tinggi. Dengan data analisis sebagai Berikut

- a. Studi tentang aspek-aspek yang perlu diperhatikan saat melakukan perencanaan.



*Gambar 3 5 Analisia Dengan Skala Prioritas Metode Perbaikan[15]*

### 3.5 Langkah Penelitian

#### 3.5.1 Observasi Penelitian

Pada penelitian awal yaitu masuk pada proses mewawancara dan mencari informasi terkait topik yang saya angkat yaitu penggunaan isolator dengan lapisan zinc sleeve pada SUTT daerah korosi tinggi yaitu pada ruas SUTT 150kV Sanur – Pesanggaran yang menjadi wilayah pengawasan dari Gardu Induk Sanur dan Gardu Induk Pesanggaran.

### 3.5.2 Data

Berikut beberapa data yang diambil dari ruas SUTT Sanur – Pesanggaran yang terpasang 2 jenis Isolator, serta data hasil pemeliharaan dari Gardu Induk Sanur dan Gardu Induk Pesanggaran yaitu :

a. Isolator Jenis Kaca Dengan Lapisan Zinc Sleeve (Merk Sediver)

Tabel 3.2 dibawah menunjukkan data sample isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve.

Tabel 3.2 Spesifikasi Isolator Kaca Dengan Lapisan Zinc Sleeve

|   |                | Isolator Standar | Isolator Antiog | Isolator puning |
|---|----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Katalog Baru                              |                | F120CB/127       | F120CB/146      | F120PG/146      |
| Katalog Lama                              |                | F12/127          | F12/146         | F12P-A/146      |
| Standar IEC(3)                            |                | U120B            | U120BP          | F120BP          |
| <b>KARAKTERISTIK MEKANIK</b>              |                |                  |                 |                 |
| Bobot<br>kegugulan<br>maksimum<br>minimum | kg             | 120              | 120             | 120             |
| <b>DIMENSI</b>                            |                |                  |                 |                 |
| Diameter (D)                              | mm             | 255              | 255             | 280             |
| Jarak (S)                                 | mm             | 127              | 146             | 146             |
| Jarak rambat                              | mm             | 320              | 390             | 445             |
| Ukuran fitting<br>logam (6)               |                | 16A              | 16A             | 16A             |
| <b>KARAKTERISTIK KLISTRIKAN (7)</b>       |                |                  |                 |                 |
| Frekuensi daya<br>menahan tegangan        |                |                  |                 |                 |
| Kondisi Kering<br>Permenit                | kV             | 70               | 70              | 72              |
| Kondisi Basah<br>Permenit                 | kV             | 40               | 40              | 42              |
| Tahanan impuls<br>petir kering volt.      | kV             | 100              | 100             | 110             |
| Tegangan tahan<br>tusukan                 | kV             | 130              | 130             | 130             |
| <b>DATA PENGEMASAN DAN PENGIRIMAN</b>     |                |                  |                 |                 |
| Perkiraan berat<br>bersih                 | kg             | 3.8              | 3.8             | 4.3             |
| Jumlah isolator<br>per peti               |                | 6                | 6               | 6               |
| Volume peti                               | m <sup>3</sup> | 0.05             | 0.05            | 0.06            |
| Berat kotor per<br>peti                   | kg             | 27               | 27              | 30              |
| Jumlah isolator<br>per palet              |                | 96               | 96              | 96              |
| Volume per<br>palet                       | m <sup>3</sup> | 1.3              | 1.3             | 1.3             |
| Berat kotor per<br>palet                  | kg             | 442              | 442             | 498             |

(1) sesuai dengan publikasi IEC 60305

(2) sesuai dengan publikasi IEC 60120

(3) sesuai dengan publikasi IEC 60383-1

b. Isolator Jenis Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve (Merk NGK)

Tabel 3.3 dibawah menunjukkan data sample isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve.

Tabel 3 Spesifikasi Isolator Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve

| Beban kegagalan kN<br>mekanis minimum | 160          |              | 210          |              | 300          | 400          | 530          |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| No Katalog                            | CA-<br>53IEC | CA-<br>580EG | CA-<br>580EH | CA-<br>589EH | CA-<br>590EB | CA-<br>596EA | CA-<br>597EA |
| Standar IEC <sup>(1)</sup>            | U160HS       | U160BL       | U210B        | U300B        | U400B        | U530B        |              |
| <b>DIMENSI</b>                        |              |              |              |              |              |              |              |
| Diameter (D) mm                       | 254          | 280          | 280          | 280          | 320          | 340          | 380          |
| Jarak unit (S) mm                     | 146          | 146          | 170          | 170          | 195          | 205          | 240          |
| Jarak rambat mm                       | 325          | 405          | 405          | 405          | 505          | 550          | 700          |
| Beban uji mekanis kN                  | 80           | 80           | 80           | 105          | 150          | 200          | 265          |
| <b>KARAKTERISTIK KELISTRIKKAN</b>     |              |              |              |              |              |              |              |
| Frekuensi daya menahan tegangan       |              |              |              |              |              |              |              |
| Kondisi Kering Permenit               | kV           | 110          | 115          | 115          | 115          | 130          | 130          |
| Tahanan impuls kondisi kering volt.   | kV           | 420          | 420          | 460          | 460          | 490          | 550          |
| Kondisi Basah Permenit                | kV           | 40           | 45           | 45           | 45           | 50           | 55           |
| Tahanan impuls kondisi basah volt.    | kV           | 175          | 175          | 180          | 180          | 185          | 200          |
| Tegangan tahan tusukan                | kV           | 110          | 110          | 110          | 125          | 140          | 140          |
| Jarak Ball & Socket                   | mm           | 20           | 20           | 20           | 20           | 24           | 32           |
| Perkiraa berat bersih                 | kg           | 6.0          | 7.5          | 7.5          | 8.5          | 12.5         | 16.0         |

(1) sesuai dengan publikasi IEC 60383-1 : 1993

c. Data Hasil Pemeliharaan Dari gardu induk Sanur dan Gardu induk pesanggaran.

d. Data Tingkat Korona Pada Ruas SUTT Sanur – Pesanggaran.

Pengumpulan data mencakup:

1. Studi Literatur

Menganalisis studi serupa dan literatur teknis untuk mengumpulkan informasi tentang metode dan perhitungan yang akan digunakan.

2. Pelaksanaan Pengujian

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian yaitu:

Waktu : 1 Juni – 1 Juli 2024

Tempat : PT PLN (Persero) Unit Induk Jawa Bagian Timur dan Bali.

### **3.6 Proses Pengambilan Data**

#### **3.6.1 Alat dan Bahan**

Untuk proses pengambilan data Kondisi isolator menggunakan beberapa peralatan dan bahan :

- a. Kamera Digital Cannon DSLR EOS 60D
- b. Kamera Corona Merk UViRCO
- c. Laptop
- d. Kabel USB
- e. Stop Kontak

#### **3.6.2 Proses Pengujian**

- a. Persiapan Peralatan dan Personil.
- b. Safety Briefing Pekerjaan.
- c. Menyalakan kamera DSLR.
- d. Menyalakan Kamera corona.
- e. Melakukan pengambilan gambar kondisi isolator dengan kamera DSLR.
- f. Melakukan pengujian Tingkat korona isolator dengan kamera korona.
- g. Mengumpulkan gambar kondisi isolator dalam laptop.
- h. Mengumpulkan gambar Tingkat korona dari kamera korona kedalam laptop.
- i. Melakukan perbandingan hasil pengambilan gambar
- j. Menyimpan data yang sudah diambil kedalam hasil pemeliraan

### **3.7 Pelaksanaan Pengujian**

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian adalah:

Waktu : 1 Juni – 1 Juli 2024

Tempat :

PT PLN (Persero) Unit Induk Jawa Bagian Timur dan Bali- Unit Pelaksana Tranmisi Bali

- Gardu Induk Sanur yang beralamat Jl. Raya Hangtuah, Sanur Kaja, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80572, Indonesia.
- Gardu Induk Pesanggaran yang beralamat Jl. By Pass Ngurah Rai No.535, Pedungan, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80222, Indonesia.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISIS**

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Dari observasi yang telah dilakukan pada saat dilapangan atau diruas SUTT 150kV Sanur – Pesanggaran diperoleh beberapa data mengenai pengujian penggunaan isolator jenis kaca dengan lapisan zinc sleeve pada daerah korosi tinggi. Data yang diperoleh kemudian di analisis terkait keandalan dan besar kemungkinan penghematan biaya yang didapatkan dari pemilihan jenis isolator yang tepat. Pada bab ini memaparkan sebuah data penggunaan isolator dengan lapisan zinc sleeve pada daerah korosi tinggi dan kemungkinan penghematan biaya.

#### **4.2 Data Penggunaan Isolator**

Isolator dengan zinc sleeve merupakan jenis isolator baru yang memiliki pengaman tambahan yaitu lapisan seng campuran yang lebih tebal pada ujung dari sisi ball isolator yang menempel pada bagian isolator. Zinc sleeve sendiri diharapkan mampu menjadi pengaman lebih bagi sisi ball isolator yang rentan terkena korosi karna terbuat dari logam. Pada dasarnya isolator sendiri telah memiliki perlindungan awal yaitu berupa lapisan galvanis yang juga sama terbuat dari campuran seng didalamnya, namun karena kondisi cuaca dan lingkungan khususnya jalur daerah korosi tinggi seperti SUTT Sanur – Pesanggaran 1 yang memang berada dipesisir pantai sehingga banyak mengandung uap garam maupun zat kimia tertentu dapat membuat sisi ball isolator karatan dan putus. Contoh uji coba penggunaan isolator dengan lapisan zinc sleeve dan isolator tanpa zinc sleeve, yaitu sebagai berikut [17]:

| TAHUN PEMASANGAN | TAHUN PENGECEKAN | JENIS       |                  |             |             |
|------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|-------------|
|                  |                  | KACA        |                  | KERAMIK     |             |
|                  |                  | ZINC SLEEVE | TIDAK            | ZINC SLEEVE | TIDAK       |
| 2013             | 2018 *           | BAGUS       | KOROSI P-1       | KOROSI P-3  | PENGGANTIAN |
|                  | 2023             | BAGUS       | PENGGANTIAN 2020 | KOROSI P-3  | PENGGANTIAN |



*Gambar 4 1 Hasil Assesment Isolator Terpasang[8]*

diatas merupakan tabel kondisi isolator yang diuji coba dijalur SUTT penghantar Sanur - Pesanggaran yang juga merupakan daerah penghantar rawan korosi. Penyebab lain cepatnya terjadi korosi pada sisi ball isolator ialah adanya partial discharge (korona). Partial discharge (korona) timbul akibat debu yang menempel pada isolator kondisi cuaca kemarau yang panas dan kondisi lingkungan tower yang berdekatan dengan pantai menimbulkan angin laut yang membawa uap air laut yang kemudian menempel pada sisi ball isolator sehingga mengakibatkan penggaraman pada sisi ball isolator yang telah terkelupas akibat partial discharge (korona). Adapun data partial discharge (korona) pada penghantar yaitu sebagai berikut[7]

*Tabel 4 1 Tingkat Korona Pada Isolator[10]*

| PENGHANTAR           | LINGKUNGAN TOWER  | JENIS  |         |         |         |
|----------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|
|                      |                   | KACA   |         | KERAMIK |         |
|                      |                   | NORMAL | ANTIFOG | NORMAL  | ANTIFOG |
| SANUR-NUSA DUA       | DEKAT LAUT/PANTAI | 2456   | 3125    | 3245    | 3483    |
| KAPAL-P.KELOD        | KOTA              | -      | -       | 1865    | -       |
| PESANGGARAN-NUSA DUA | RAWA              | 3125   | 2789    | 3328    | 3254    |

Data tabel 4.1 diatas merupakan besarnya partial discharge (korona) pada beberapa SUTT penghantar dengan dua kodisi lingkungan yaitu sanur-gianyar (pantai) dan kapal-pemecutan kelod (kota). Lingkungan bali yang memiliki kota (pemukiman) yang juga didekat pantai menyebabkan tingginya intensitas debu pada daerah dengan isolator bahan kaca tersebut, kemudian jenis isolator dengan bahan keramik juga diketahui memiliki tingkat korona yang lebih besar dibandingkan isolator berbahan kaca hal ini karena ketebalan warna keramik tidak dapat ditembus sinar matahari sehingga tidak dapat mengeliminasi debu yang menyebabkan tingginya partial discharge (korona) yang terjadi. Penggunaan isolator dengan zinc sleeve pada area ini mengantisipasi

terjadinya percepatan pengelupasan lapisan galvanis pada pangkal sisi ball isolator akibat partial discharge (korona). Lapisan zinc sleeve pada isolator yang membuat pangkal sisi ball isolator menjadi lebih tebal sehingga diharapkan dapat menambah life time penggunaan isolator 5-10 tahun. Dari segi ekonomi harga isolator dengan lapisan zinc sleeve memang memiliki harga yang sedikit mahal dibandingkan isolator biasa tanpa lapisan zinc sleeve adapun harga isolator dengan lapisan zinc sleeve yaitu [8]:

*Tabel 4.2 Harga Isolator*

| No. | Uraian Pekerjaan                  | Volume | Satuan | Harga (Rp) |                |
|-----|-----------------------------------|--------|--------|------------|----------------|
|     |                                   |        |        | Satuan     | Jumlah         |
| A   | <b>MATERIAL</b>                   |        |        |            |                |
| 1   | ISOLATOR zinc sleeve 120KN        | 650.0  | BH     | 414,500.00 | 269,425,000.00 |
| 2   | ISOLATOR tanpa zinc sleeve 120 KN | 650.0  | BH     | 267,260.00 | 173,719,000.00 |
|     |                                   |        |        |            |                |

#### 4.2.1 Analisis kerja

- Isolator dengan zinc sleeve dirancang untuk bekerja lebih optimal di lingkungan ekstrem seperti wilayah pesisir (tinggi kandungan garam) dan industri (tinggi polusi).
- Zinc sleeve melindungi kaca dari ion korosif dan mencegah keretakan mikro yang dapat mengurangi umur pakai.
- Performa isolator dapat dinilai dari stabilitas tegangan tembus, resistansi terhadap polusi, dan durabilitas terhadap perubahan cuaca.

### Pengujian

#### a. Data Peralatan dan Data Kondisi Pengujian

Polutan yang diberikan pada sampel merupakan campuran garam NaCl dan Kaolin. Bahan pencemar terdiri dari beberapa tingkatan: tidak ada polutan, polutan sedang, dan polutan tinggi. Perbedaan antara Kadar pencemar merupakan berat pencemar yang menempel pada permukaan isolator. Itu semakin tinggi tingkat polusi, semakin berat massa polutannya. Tabel 4.3 menunjukkan data isolator yang akan dilakukan pengujian.

Tabel 4.3 Data Sampel Insulator

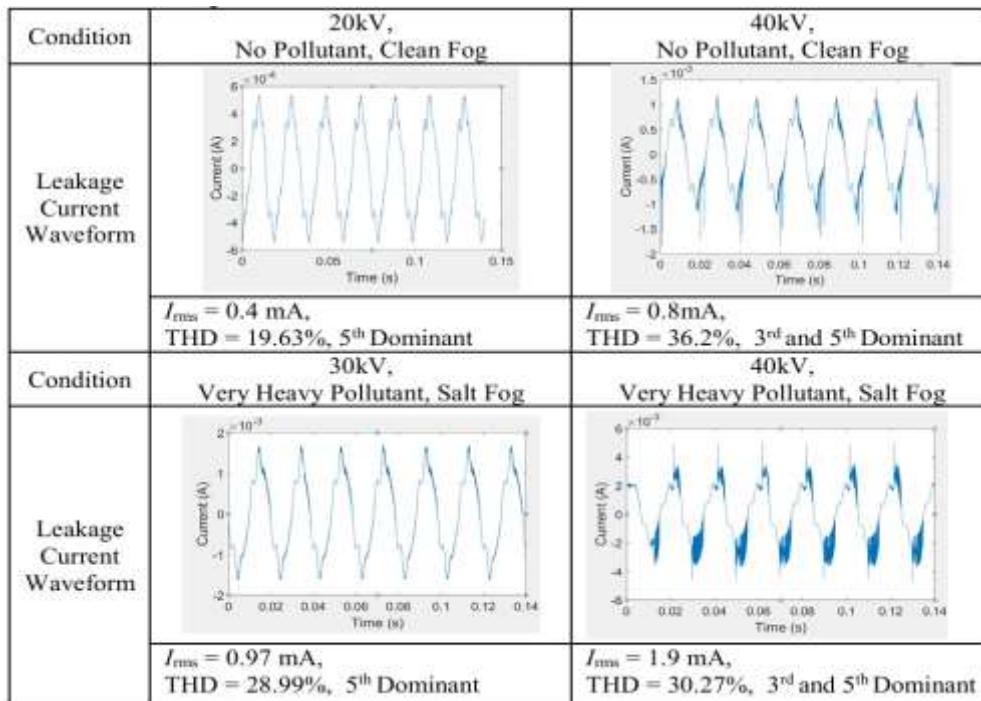
| Tipe Isolator                     |                 |            | Kaca   | Keramik |
|-----------------------------------|-----------------|------------|--------|---------|
| Disc Diameter/mm                  |                 |            | 255    | 280     |
| Unit Spacing/mm                   |                 |            | 146    | 170     |
| Creepage Distance/mm              |                 |            | 320    | 370     |
| Electromechanical Failing Load/kg |                 |            | 11,339 | 19,100  |
| Minimum Flashover Voltage         | Power Frequency | Kering/kV  | 80     | 80      |
|                                   | 50% Impulse     | Basah/kV   | 50     | 47      |
|                                   |                 | Positif/kV | 125    | 125     |
|                                   |                 | Negatif/kV | 130    | 130     |
| Puncture Voltage/ kV              |                 |            | 130    | 125     |
| Ball and Socket Size/mm           |                 |            | 20     | 24      |
| Net Weight/kg                     |                 |            | 3.9    | 8.9     |

### b. Pengujian Arus Bocor

Pengukuran arus bocor dilakukan dengan metode step-up dari 10 hingga 40 kV tegangan AC 50 Hz dengan kenaikan 10 kV. Skenario pengujian ialah melihat kondisi isolator pada setiap kenaikan Tegangan yang di berikan per 10kV serta kondisi lingkungan buatan yang berbeda kemudian memperhatikan bentuk gelombang yang terbentuk. Bentuk Gelombang dapat digunakan sebagai indikator kondisi permukaan dan tingkat penuaan isolator, yang diwakili oleh besaran arus bocor dan adanya frekuensi harmonik ganjil, masing-masing. Karakteristik bentuk gelombang arus bocor juga dipengaruhi oleh komponen lain, seperti resistensi nonlinier permukaan isolator. Parameter bentuk gelombang arus bocor adalah diamati pada osiloskop. Kemudian, distorsi harmonik total (THD) dan harmonik dominan dihitung menggunakan metode transformasi Fourier cepat (FFT)[5].

Pada Gambar 4.2 menggambarkan bentuk gelombang arus bocor yang diperoleh dari pengukuran isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve bentuk gelombang, yang memiliki belokan seperti lembah sebelum puncaknya. Hampir semua bentuk gelombang pada semua tegangan uji simetris dan memiliki beberapa busur. Pada pengujian 40 kV tegangan, busur lebih banyak terjadi dan bentuk gelombang menjadi asimetris. Selain itu, peningkatan pada besarnya arus bocor

sangat tinggi, sehingga dapat dikatakan pada tegangan uji 40 kV isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve dalam keadaan pra-flashover. Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan besaran arus bocor isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve dibawah pengaruh kabut dan polutan.



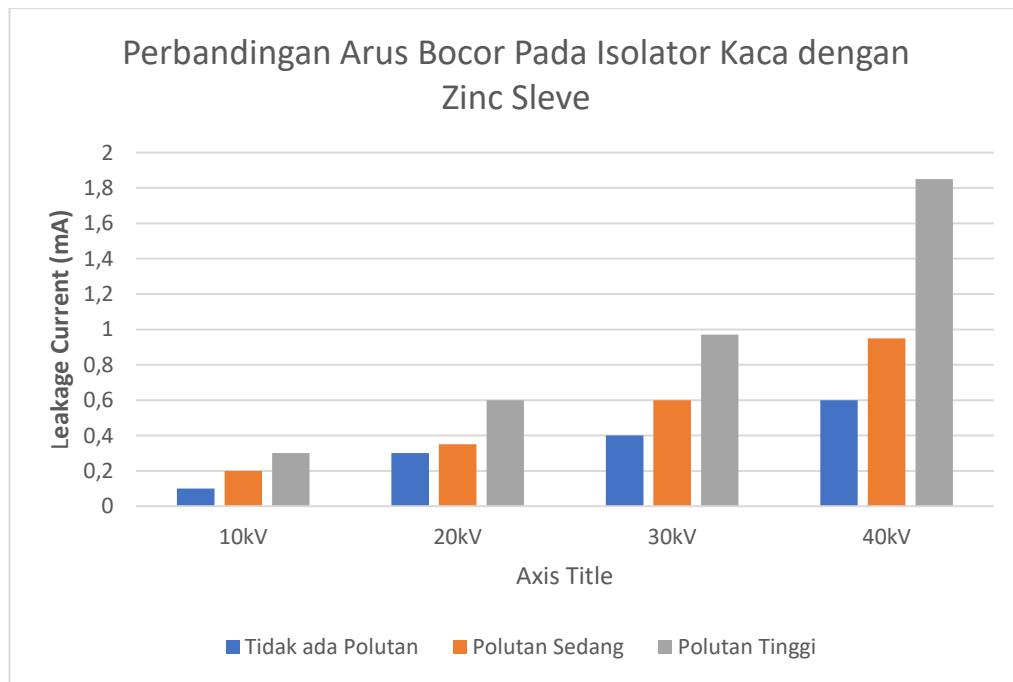
Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Arus bocor Isolator Kaca dengan Lapisan Zinc Sleeve diKondisi Buatan Berbeda

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat perbandingan nilai Rms Leakege Current (Irms) dan Distorsi Harmonik Total (THD). Besarnya Rms leakege current (Irms) semakin besar seiring dengan tingkat kondisi kabut, kelembaban, serta tingginya nilai tegangan yang diberikan. Distorsi harmonik total (THD) yang terjadi tampak tidak terlau terlalu terpengaruh dengan lingkungan namun terpengaruh dengan nilai tegangan yang mengalir, dimana pada isolator jenis kaca dengan lapisan zinc sleeve ini Distorsi harmonik total (THD) yang terjadi pada tingkat 5<sup>th</sup> pada tegangan uji dibawah 40kV dan 3<sup>rd</sup> - 5<sup>th</sup> Dominant pada tegangan uji 40kV. Pada isolator jenis kaca dengan lapisan zinc sleeve yang diujikan dapat dilihat pada kondisi lingkungan bersih tanpa polutan dan kabut, dapat dilihat nilai Rms leakege current (Irms) berada dibawah 1 Miliamper (mA), bahkan pada tegangan uji tertinggi 40kV nilai Rms leakege current (Irms) hanya sebesar 0,8 Miliamper (mA). Pada kondisi lingkungan yang memiliki tingkat polutan tinggi serta berkabut garam nilai Rms leakege current (Irms) sangat meningkat tinggi pada tegangan uji 30kV nilai Rms leakege current (Irms) sudah mencapai 0,97 Miliamper (mA) dan pada tegangan uji tertinggi 40kV nilai Rms leakege current (Irms) sudah mencapai 1,9 Miliamper (mA), Namun Isolator masih dalam kondisi aman belum mencapai Flashover.

*Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Rms Leakege Current (Irms) & Distorsi Harmonik Total (THD) Pada Isolator Kaca Zinc Sleeve*

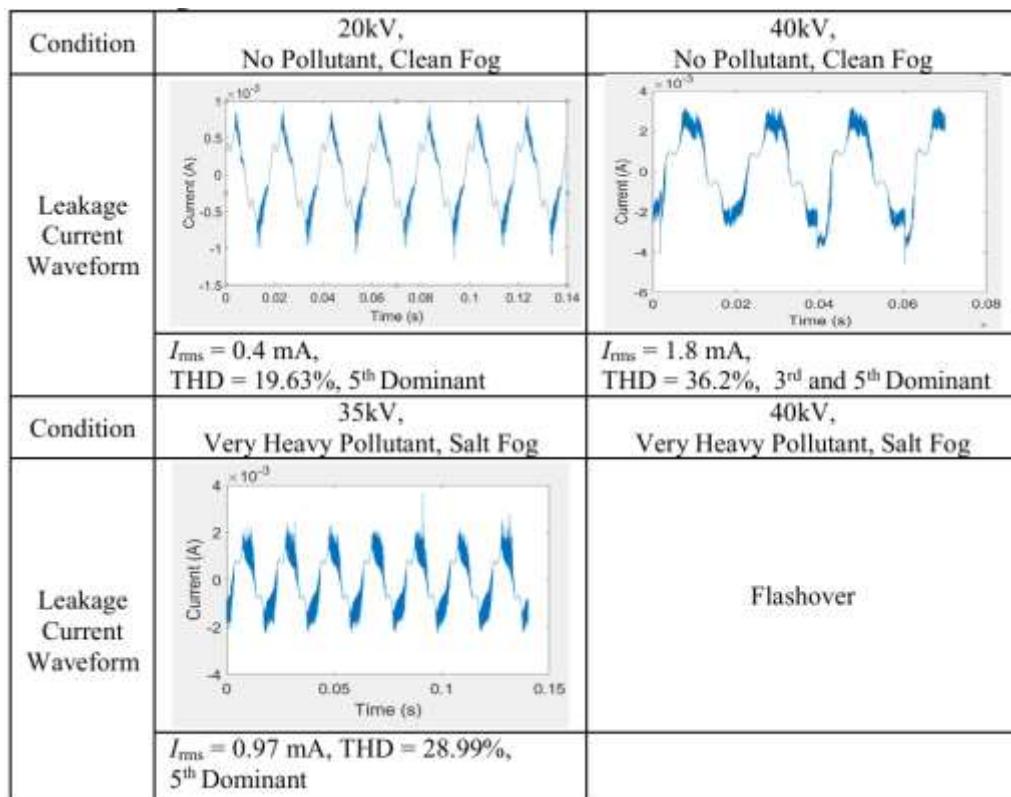
| Tegangan Uji & Kondisi Lingkungan                        | I rms   | THD  |
|--|---------|--|
| 20 kV & Kondisi Tidak ada Polutan, Tidak ada Kabut Garam | 0,4 mA  | 5 <sup>th</sup> Dominant                   |
| 40 kV & Kondisi Tidak ada Polutan, Tidak ada Kabut Garam | 0,8 mA  | 3 <sup>rd</sup> - 5 <sup>th</sup> Dominant |
| 30 kV & Kondisi Polutan tinggi, Kabut Garam tinggi       | 0,97 mA | 5 <sup>th</sup> Dominant                   |
| 40 kV & Kondisi Polutan tinggi, Kabut Garam tinggi       | 1,9 mA  | 3 <sup>rd</sup> - 5 <sup>th</sup> Dominant |

Terlihat dari Tabel 4.4 besarnya arus bocor semakin besar seiring dengan bertambahnya konduktivitas kabut serta kelembaban. Kelembapan kondisi tidak ada kabut sekitar 60 hingga 65%, sedangkan kelembapan kondisi kabut bersih dan garam berkisar 77 hingga 83%. Sebagai kelembaban menunjukkan berapa banyak uap air di udara, kandungan air ini menyebabkan permukaan isolator menjadi lebih konduktif sehingga meningkatkan arus bocor. Tabel 4.4 menunjukkan bahwa besaran arus bocor pada kondisi polutan yang sangat berat adalah paling besar, disusul kondisi polutan sedang dan tidak ada polutan. Hal ini karena polutan yang digunakan mengandung garam dan endapan tidak larut (kaolin) yang ditunjukkan dengan ESDD dan NSDD. ESDD mengacu pada jumlah garam yang memiliki konduktivitas tinggi sehingga menyebabkan permukaan isolator menjadi konduktif. Kondisi yang membuat isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve dalam keadaan pra flashover adalah kondisi kabut garam dan polutan yang sangat intens. Pada keadaan ini, banyak busur terjadi di permukaan isolator, menghasilkan perpanjangan pita kering. Oleh karena itu, arus bocor biasanya besar dengan bentuk gelombang yang berbeda dari bentuk gelombang arus bocor pada umumnya.



*Gambar 4.3 Arus Bocor Isolator Kaca Dengan Lapisan Zinc Sleeve*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa bentuk gelombang arus bocor isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve mempunyai lilitan seperti lembah sebelum puncak dan lembah masing-masing pada setengah siklus positif dan negatif, membentuk dua bukit pada setiap setengah siklus. Semua bentuk gelombang simetris antara positif dan siklus negatif. Pada tegangan yang diterapkan 20kV, busur yang lebih kecil terjadi setelah setiap puncak. Seiring dengan peningkatan tegangan yang diterapkan, konduktivitas kabut, dan jumlah polutan, lebih banyak busur terjadi di sekitar puncak pada kedua siklus. Hal ini karena meningkatkan parameter tersebut akan meningkatkan jumlah pelepasan atau busur di pita kering



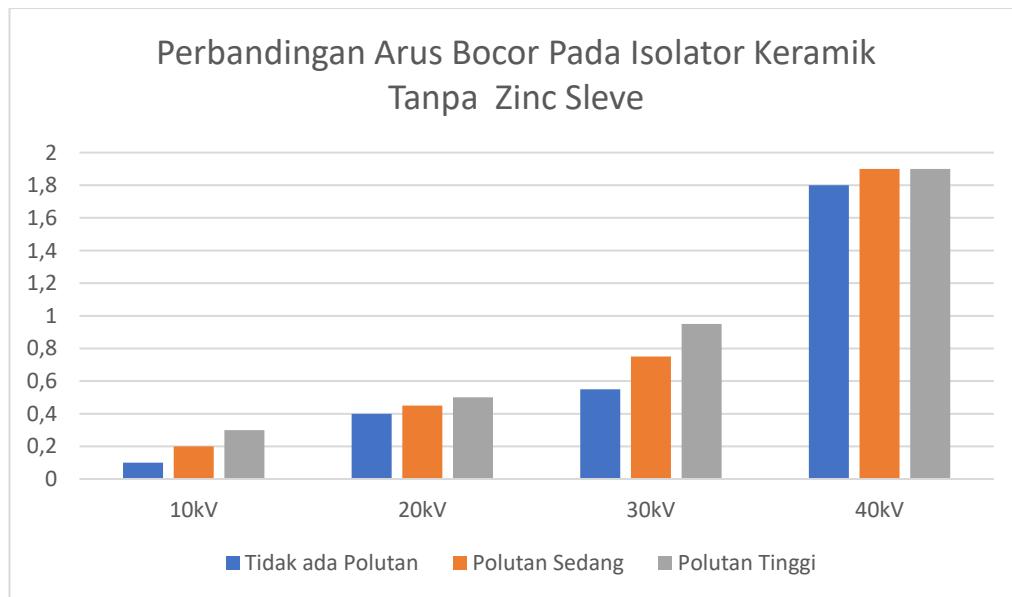
Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Arus bocor Isolator Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve diKondisi Buatan Berbeda

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat perbandingan nilai Rms Leakege Current ( $I_{rms}$ ) dan Distorsi Harmonik Total (THD) pada jenis isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve. Distorsi harmonik total (THD) yang terjadi tampak tidak terlalu berbeda dengan jenis isolator kaca zinc sleeve, dimana pada jenis Isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve ini Distorsi harmonik total (THD) yang terjadi pada tingkat 5<sup>th</sup> pada tegangan uji dibawah 40kV dan 3<sup>rd</sup> - 5<sup>th</sup> Dominant pada tegangan uji 40kV namun pada kondisi lingkungan polutan dan kabut garam tinggi isolator telah mengalami flashover sehingga hasil Distorsi harmonik total (THD) tidak ada. Pada jenis isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve yang diujikan dapat dilihat pada kondisi lingkungan bersih tanpa polutan dan kabut, dapat dilihat pada tegangan uji 20kV nilai Rms leakege current ( $I_{rms}$ ) sama dengan isolator kaca lapisan zinc sleeve yaitu sebesar 0,4 Miliampere (mA), namun pada tegangan uji tertinggi 40kV nilai Rms leakege current ( $I_{rms}$ ) meningkat sebesar 1,8 Miliampere (mA). Pada kondisi lingkungan yang memiliki tingkat polutan tinggi serta berkabut garam nilai Rms leakege current ( $I_{rms}$ ) baru mencapai 0,97 Miliampere (mA) pada tegangan uji 35kV sedangkan pada isolator kaca dengan zinc sleeve nilai tersebut sudah muncul pada tegangan uji 30kV akan tetapi pada tegangan uji tertinggi 40kV isolator mengalami Flashover.

*Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Rms Leakege Current (Irms) & Distorsi Harmonik Total (THD) Pada Isolator Keramik Tanpa Zinc Sleeve*

| Tegangan Uji & Kondisi Lingkungan                        | I rms     | THD  |
|--|-----------|--|
| 20 kV & Kondisi Tidak ada Polutan, Tidak ada Kabut Garam | 0,4 mA    | 5 <sup>th</sup> Dominant                   |
| 40 kV & Kondisi Tidak ada Polutan, Tidak ada Kabut Garam | 1,8 mA    | 3 <sup>rd</sup> - 5 <sup>th</sup> Dominant |
| 35 kV & Kondisi Polutan tinggi, Kabut Garam tinggi       | 0,97 mA   | 5 <sup>th</sup> Dominant                   |
| 40 kV & Kondisi Polutan tinggi, Kabut Garam tinggi       | Flashover | Flashover                                  |

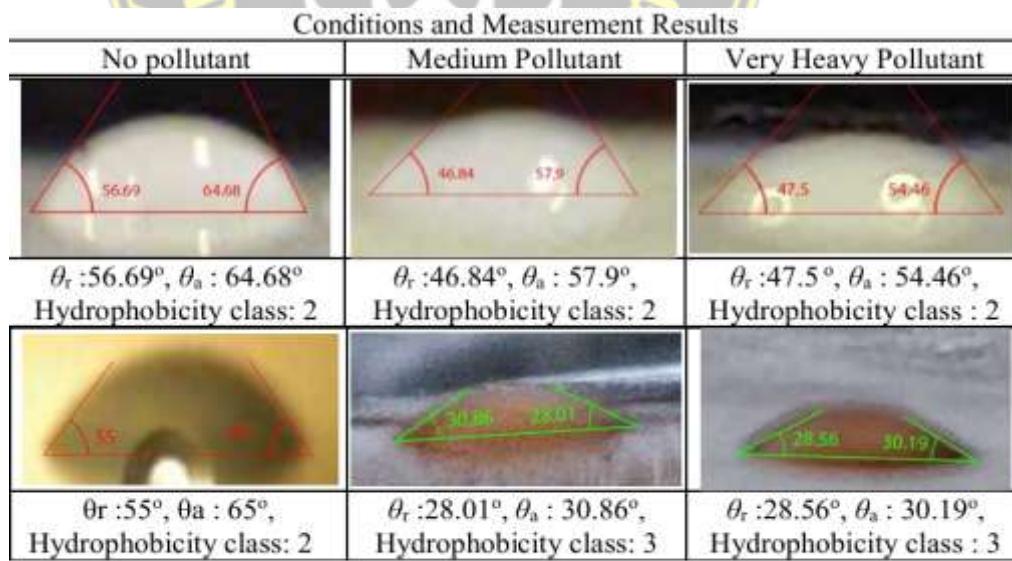
Tabel 4.5 menunjukkan hasil uji arus bocor isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve di bawah pengaruh kabut dan polutan. Dari gambar terlihat bahwa pada kondisi kering atau tidak ada kabut terjadi kebocoran arus kecil, disusul kondisi polutan sedang dan Polutan tinggi garam, apapun kondisi polutannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa besaran arus bocor pada kondisi kabut bersih dan kabut garam meningkat tiba-tiba pada tegangan 40 kV karena kondisi isolator sudah mendekati flashover. Jika dibandingkan dengan menunjukkan kondisi isolator dengan adanya polutan, pada 40 kV, mereka sudah mencapai kondisi flashover. Oleh karena itu, tidak ada data kebocoran arus yang diperoleh. Sedangkan Tabel 4.5 menunjukkan kondisi isolator tanpa bahan pencemar atau dalam kondisi bersih; mereka dapat mempertahankan kondisi pengoperasian tanpa flashover bahkan pada tegangan yang lebih tinggi, khususnya di bawah kabut bersih. Sebab, dalam kondisi berkabut, air dan garam menyebabkan peningkatan konduktivitas kabut, sehingga meningkatkan konduktivitas permukaan, serta kebocoran arus. Konduktivitas kabut garam lebih tinggi dibandingkan kabut air yang lebih tinggi daripada tidak ada kabut.



*Gambar 4 5 Arus Bocor Isolator Keramik Tanpa Lapisan Zinc Sleeve*

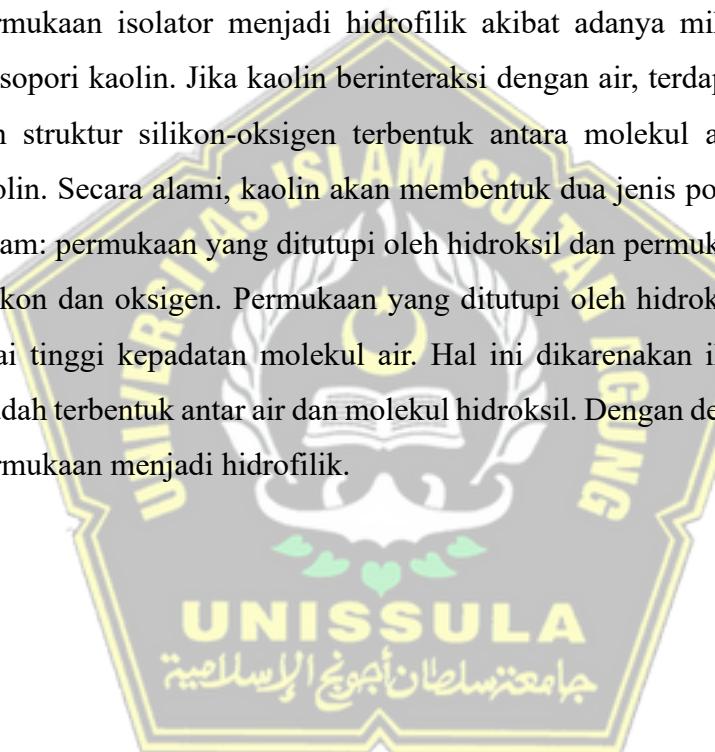
### c. Pengujian Hidrofobisitas

Ada dua jenis sudut kontak dinamis: sudut kontak surut ( $\theta_r$ ) dan memajukan sudut kontak ( $\theta_a$ ). Dalam IEC-TS 62073,  $\theta_r$  menentukan tingkat hidrofobisitas suatu permukaan isolator, sehingga penentuan kelasnya juga diukur berdasarkan sudut kontak surut. Semakin besar sudut surutnya maka semakin baik tingkat hidrofobisitasnya.



*Gambar 4 6 Hidrofobisitas Isolator*

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak antara tetesan air dan permukaan isolator untuk menentukan kelas hidrofobisitas. Isolator Kaca dengan lapisan zinc sleeve mempunyai kelas hidrofobisitas 2. Sedangkan isolator keramik berada pada kelas 3. Isolator kaca dan keramik mempunyai sifat hidrofobisitas yang sama namun kelas dan nilai sudut surut berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hidrofobisitas kaca dengan lapisan zinc sleeve lebih baik dan isolator keramik tanpa lapisan zinc sleeve memiliki hidrofobisitas rendah. Secara umum, semakin tinggi tingkat polutan, semakin rendah tingkat hidrofobisitasnya. Itu semakin parah polutannya, semakin rendah nilai sudut surutnya. Hal ini karena kaolin Lapisan dari bahan pencemar dapat menyebabkan permukaan isolator menjadi hidrofilik akibat adanya mikropori dan struktur mesopori kaolin. Jika kaolin berinteraksi dengan air, terdapat struktur hidroksil dan struktur silikon-oksigen terbentuk antara molekul air dan dinding pori kaolin. Secara alami, kaolin akan membentuk dua jenis pori permukaan bagian dalam: permukaan yang ditutupi oleh hidroksil dan permukaannya ditutupi oleh silikon dan oksigen. Permukaan yang ditutupi oleh hidroksil akan mempunyai nilai tinggi kepadatan molekul air. Hal ini dikarenakan ikatan hidrogen akan mudah terbentuk antar air dan molekul hidroksil. Dengan demikian, itu membuat permukaan menjadi hidrofilik.



#### 4.3 Pemasangan Isolator Dengan Lapisan Zinc Sleeve

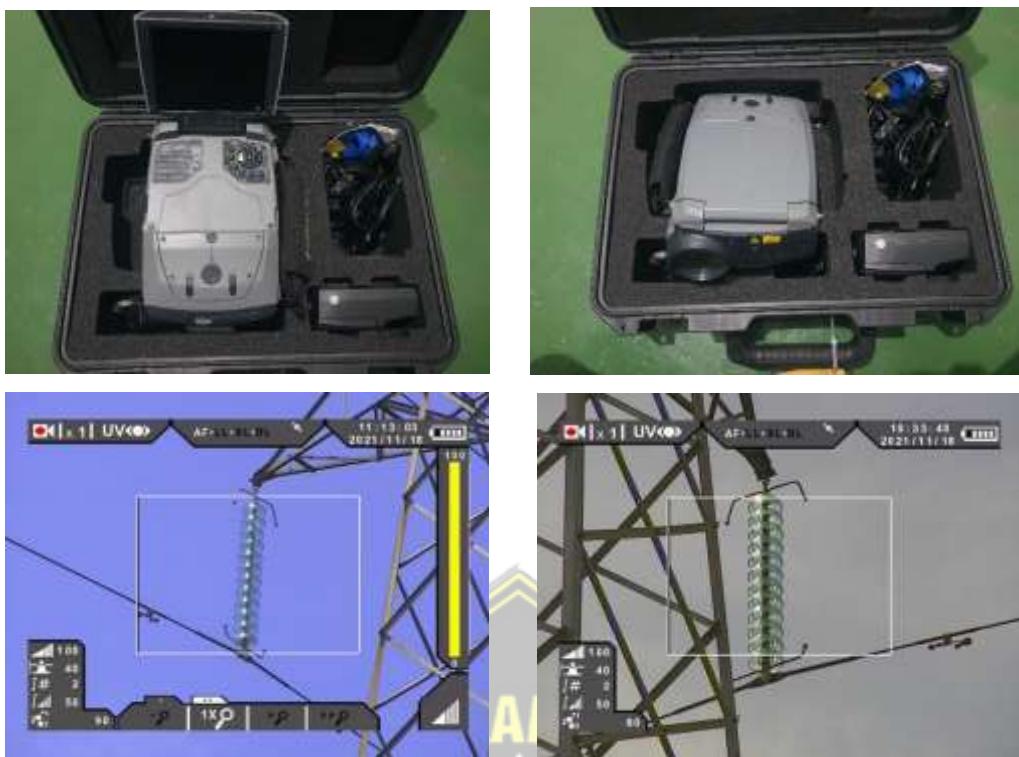
Pada saat pemeliharaan penggantian isolator T.53 SUTT Penghantar Sanur-Pesanggaran 1 ditemukan anomaly berupa adanya korosi pada sisi ball isolator yang berada di Penghantar Sanur-Pesanggaran 1, Isolator tersebut jenisnya Sediver Normal pemasangan tahun 1995 direnceng ke-4 dengan total terpasang 12 keping isolator yang berada pada tower berjenis suspension. Diketahui beban yang akan diterima oleh konduktor apabila isolator tersebut putus/terlepas akibat korosi ialah 4,6Kg/keping. Pada sisi life time isolator yang memang telah terpasang sekitar 25-30 tahun lalu serta dari letak tower yang memang memiliki jalur penghantar berdekatan dengan Pantai [7].



*Gambar 4.7 Pemasangan Isolator Baru Jenis Kaca dengan Lapisan Zinc Sleeve*

Dari data hasil Climb up inspection pemeriksaan terhadap tower berikut perlengkapannya diketahui bahwa gangguan yang berupa korosi menuju sisi ball isolator, gangguan akibat kerusakan peralatan seperti adanya Isolator flash / putus, Konduktor/jumper putus, dan GSW/vangnet putus sering terjadi pada november 2019, data di atas merupakan rangkuman data uji coba penggunaan jenis isolator penghantar Sanur-Pesanggaran 1 di bulan November 2019, dan perlu diketahui bahwa dalam kondisi penggunaan isolator berbahan keramik/kaca normal semestinya tidak ada korosi terjadi pada bagian tersebut [7].

Korosi (perkaratan) merupakan kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang tidak dikehendaki. Pada isolator yang rentan terkena korosi adalah bagian *ball socket* dan *ball eye*, dan pada *accesoris* sisi cold adalah *shackle*. Faktor yang menyebabkan korosi seperti, bahan logam, tingginya tingkat penggaraman lingkungan, dan tingginya nilai partial discharge pada peralatan(isolator).



Gambar 4.8 Alat Uji Korona Pada Isolator[9]

#### 4.4 Perhitungan Penghematan Biaya

##### Pembahasan (*Saving dan Benefit*)

###### 4.4.1 Saving

*Saving* merupakan biaya yang dapat disimpan dari risiko yang dapat terjadi. Jika inisiatif perbaikan benar yang sudah dipaparkan diatas maka resiko bahaya kerusakan yang lebih besar bisa dicegah atau paling tidak diminimalisasi[18]. Hal ini berarti inisiatif ini menyelamatkan perusahaan dari biaya akibat kerusakan isolator yang tidak perlu. Maka saving dari pekerjaan perbaikan korosi pada sisi ball isolator sebagai berikut :

*Tabel 4.6 Perhitungan Saving*

| No. | Uraian Pekerjaan                  | Volume | Satuan | Life Time | Harga (Rp) |           |
|-----|-----------------------------------|--------|--------|-----------|------------|-----------|
|     |                                   |        |        |           | Satuan     | Jumlah    |
| 1   | ISOLATOR zinc sleeve 120KN        | 12     | BH     | 20th      | 414.500,00 | 4.974.000 |
| 2   | ISOLATOR tanpa zinc sleeve 120 KN | 12     | BH     | 15th      | 267.260,00 | 3.207.120 |
| 3   | Pengecatan (couting)              | 12     | BH     | 5th       | 50.000,00  | 600.000   |

Jika lama ketahanan isolator akibat gangguan yang disebabkan korosi sisi ball isolator dengan zinc sleeve bertahan 20 tahun dan isolator tanpa zinc sleeve bertahan 15 tahun, maka terdapat selisih biaya sebesar 1,5 juta rupiah setelah 20 tahun kerugian yang ditaksir sebesar

$$= 12 \times 2 \times \text{Rp.} 267.260 + (2 \times 1.500.000) - (\text{Rp.} 414.500 \times 12) = \text{Rp.} 3.940.000,- / \text{string} (12 \text{ Keping Isolator})$$

Biaya yang disimpan semestinya sebesar Rp. Rp. 3.940.000,-/string(12 Keping Isolator)

#### 4.4.2 Benefit

Manfaat yang didapat setelah dilakukannya penggantian isolator dengan zinc sleeve pada tower dengan daerah dekat pantai yang berada di penghantar Sanur-Pesanggaran adalah sebagai berikut :

- Menghindari gangguan pada SUTT, karena korosi yang berada di sisi steel pin isolator jenis keramik telah diganti menggunakan isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve.
- Menjaga kinerja unit PLN Unit Induk Tranmisi Jawa Bagian Timur dan Bali dapat tercapai dengan baik

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

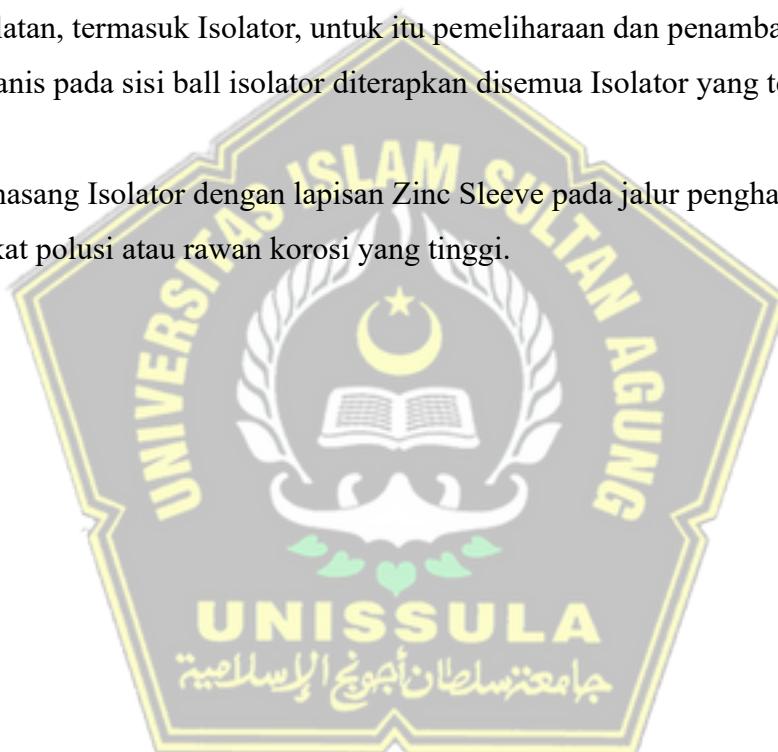
Setelah dilakukan perhitungan, pengujian, dan analisis serta tahap wawancara yang sudah dilakukan di Gardu Induk 150kV Pesanggaran dan Gardu Induk 150 kV Sanur Dari hasil analisa penyebab korosi sisi ball isolator dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai kelayakkan isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve terhadap arus bocor didaerah korosi tinggi sebagai berikut :

1. Dari hasil Climb up inspection pada daerah dekat pantai ditemukan sejumlah isolator mengalami korosi didominasi dengan isolator keramik Antifog tanpa zinc sleeve.
2. Isolator kaca dengan lapisan zinc sleeve memiliki nilai uji arus bocor yang juga hampir sama besar dengan isolator jenis keramik tanpa lapisan zinc sleeve, namun pada kondisi tegangan 40kv isolator jenis keramik mengalami kondisi flashover dimana isolator kaca tidak mengalami hal tersebut.
3. Isolator jenis kaca lebih mampu mengeliminasi kelembaban penyebab corona dan penggaraman isolator dilingkungan dekat pantai sehingga nilai arus bocor cenderung kecil.
4. Pemilihan jenis isolator yang tidak menyesuaikan daerah menyebabkan isolator berpotensi lebih cepat mengalami korosi.
5. Dari segi harga isolator jenis keramik memang memiliki harga yang cenderung lebih murah namun dari kondisi lingkungan dan dampak terhadap isolator penggunaan isolator jenis kaca dengan lapisan zinc sleeve dirasa lebih efektif meski memiliki harga yang sedikit lebih mahal.

## 5.2 Saran

Penggunaan isolator dengan lapisan zinc sleeve bisa menjadi solusi atas permasalahan yang timbul karena jalur penghantar yang berada didekat pantai dengan zinc sleeve sebagai media tambahan dari pelindung sisi ball isolator. namun tidak menutup kemungkinan penggunaan isolator dengan zinc sleeve juga memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis menyarankan beberapa hal dalam penggunaan isolator dengan zinc sleeve dan masukan terkait permasalahan pada tugas akhir yang ditulis Ini:

1. Sistem penyaluran semakin handal dengan mempertahankan performance semua peralatan, termasuk Isolator, untuk itu pemeliharaan dan penambahan penebalan galvanis pada sisi ball isolator diterapkan disemua Isolator yang terpasang.
2. Memasang Isolator dengan lapisan Zinc Sleeve pada jalur penghantar dengan tingkat polusi atau rawan korosi yang tinggi.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] MUHAMMAD RENO RINALDI, “Studi Penggunaan Isolator Polimer 150 KV Di Daerah Berplutan Pada PT PLN (Persero) Jalur Penghantar 150 KV Porsea Tarutung,” 2020.
- [2] Yusri Manapa Ambabunga and Henrianto Masiku, “Analisis Kerusakan isolator Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Akibat Pengaruh Polutan ( Kondisi Kering Dan Basah ),” *Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja*, 2023.
- [3] Royan Naimi, “Penggantian Temuan Isolator Korosi pada Line Asam-Asam Arah Cempaka Artikel ini telah tayang di BanjarmasinPost.co.id dengan judul Penggantian Temuan Isolator Korosi pada Line Asam-Asam Arah Cempaka, <https://banjarmasin.tribunnews.com/2019/09/13/penggantian-temuan-isolator-korosi-pada-line-asam-asam-arah-cempaka.>,” *Banjarmasin Post*, 2019.
- [4] M. Marjerrison, “Electric transmission tower design,” *Journal of the Power Division*, vol. 94, no. 1, pp. 1–23, 1968.
- [5] Direksi PT PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Tegangan Ekstra Tinggi*. 2014.
- [6] D. F. Mayangsari, H. Adianto, and Y. Yuniaty, “Usulan Pengendalian Kualitas Produk Isolator Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea) Dan Fault Tree Analysis (Fta),” *Reka Integra*, vol. 3, no. 2, 2015.
- [7] F. David and R. Nazir, “ANALISA ARUS BOCOR PADA ISOLATOR SUSPENSION TIPE BALL & SOCKET SALURAN TRANSMISI 150 KV AKIBAT PENGOTORAN UAP GARAM DAN DEBU SEMEN Oleh,” 2005.
- [8] G. S. Punse, “Analysis and design of transmission tower,” *International Journal of Modern Engineering Research*, vol. 4, no. 1, pp. 116–138, 2014.
- [9] E. Haryanty, “Pemeliharaan Isolator Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Pt Pln (Persero) Upt Probolinggo,” 2022.
- [10] M. F. Sidiq, “Analisa korosi dan pengendaliannya,” *Jurnal foundry*, vol. 3, no. 1, pp. 25–30, 2013.
- [11] H. Tang *et al.*, “Response of a salt marsh plant to sediment deposition disturbance,” *Estuar Coast Shelf Sci*, vol. 237, p. 106695, 2020.
- [12] PLN UPT Bali, “Hasil Assemen Kondisi Isolator Pada SUTT Sekitar Pantai UPT Bali,” 2023.
- [13] D. Patel, G. Pandey, V. K. Mourya, and R. Kumar, “Sustainable base isolation: a review of techniques, implementation, and extreme events,” *Sādhanā*, vol. 49, no. 2, p. 173, 2024.
- [14] K. Kumagai, K. Minami, Y. Sugai, T. Sumiyoshi, and T. Komaru, “Effect of ablation at high-dominant frequency sites overlapping with low-voltage areas after pulmonary vein isolation of nonparoxysmal atrial fibrillation,” *J Cardiovasc Electrophysiol*, vol. 30, no. 10, pp. 1850–1859, 2019.
- [15] A. S. Alam, A. Syakur, and G. Supriyadi, “STUDI FENOMENA ARCHING DISCHARGE PADA ISOLATOR DENGAN KONDISI LINGKUNGAN BERPOLUTAN BERAT,” *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 17–23.

- [16] I. E. C. IEC, “60383–1 Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 000 V – Part 1: Ceramic or glass insulator units for ac systems—Definitions, test methods and acceptance criteria [Internet]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1993,” 1951.
- [17] F. R. Yanti, “Analisa Pengaruh Kontaminan Isolator Terhadap Jumlah Flashover pada Saluran Transmisi 150 kV Koto Panjang-Payakumbuh,” *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, vol. 12, no. 1, pp. 559–566, 2022.
- [18] T. W. Budiman, “AUDIT ENERGI LISTRIK DAN ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM PENDINGIN DAN PENCAHAYAAN DI GEDUNG D3 EKONOMI UII,” 2019.

