

TUGAS AKHIR
ANALISIS MAINTENANCE JARINGAN MVTIC MENGGUNAKAN
HV-TEST PADA PLN ULP WELERI



DISUSUN OLEH:
MUHAMMAD LUAY RIZQY SUNARKO PUTRA
30601900034

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2026

FINAL PROJECT REPORT

**MAINTENANCE ANALYSIS OF MVTIC NETWORKS USING HV-TEST
AT PLN ULP WELERI**

This Report is Compiled to Fulfil One of the Requirements
To Obtain a Bachelor's Degree in the Electrical Engineering Study Program

Faculty of Industrial Technology

Universitas Islam Sultan Agung

Semarang



Compiled By:

Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra

NIM: 30601900034

DEPARTEMEN OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2026

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS MAINTENANCE JARINGAN MVTIC MENGGUNAKAN HV-TEST PADA PLN ULP WELERI" ini disusun oleh:

Nama : Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra

NIM : 30601900043

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Jum'at

Tanggal : 20 Februari 2026



Pembimbing I

Dr. Gurawan, S.T, M.T

NIDN. 06-0711-7101

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS MAINTENANCE JARINGAN MVTIC MENGGUNAKAN HV-TEST PADA PLN ULP WELERI" ini telah dipertahankan di depan penguji

Hari : Jum'at
Tanggal : 20 Februari 2026


Tim Penguji

Tanda Tangan

Dedi Nugroho, S.T.,M.T.
NIDN. 0617126602
Ketua Penguji

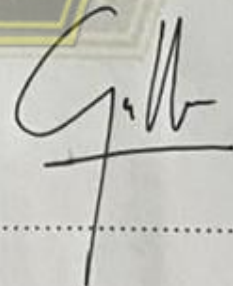


Jenny Putri Hapsari, S.T.,M.T.
NIDN. 0607018501
Penguji I



23 02 2026

Dr. Gunawan, S.T., M.T.
NIDN. 0607117101
Penguji II



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra
NIM : 30601900034
Judul Tugas Akhir : ANALISIS MAINTENANCE JARINGAN
MVTIC MENGGUNAKAN HV-TEST PADA PLN
ULP WELERI

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul serta isi Tugas Akhir yang saya susun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro merupakan hasil karya saya sendiri. Karya ini belum pernah diangkat, ditulis, ataupun dipublikasikan oleh pihak lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali bagian-bagian yang secara jelas saya cantumkan sebagai rujukan dalam naskah dan daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa Tugas Akhir ini pernah ditulis, digunakan, atau diterbitkan oleh orang lain, saya bersedia menerima segala bentuk sanksi akademik yang berlaku. Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab.

Semarang, Februari 2026

Yang Menyatakan



Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra

NIM : 30601900034

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS MAINTENANCE JARINGAN MVTIC MENGGUNAKAN HV-TEST PADA PLN ULP WELERI" dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, Februari 2026

Yang Menyatakan



Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil Aalamin, sujud serta syukur kepada Allah SWT.
Terimakasih atas karunia-Mu yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran
sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Pertama,

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai
dan saya banggakan (Ibu Nur Kamidah,M.Pd. dan Bapak Muhchamad Haris
Tarmidi,M.Pd.) yang sudah membesarkan saya, yang selalu mendoakan yang
terbaik dan memberikan semangat serta dukungan sehingga saya dapat
menyelesaikan pendidikan sampai tingkat sarjana.

Kedua,

Untuk Dosen Pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu
memberikan ilmu, saran, dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk rekan seperjuangan Tugas Akhir dan teman-teman Teknik Elektro angkatan
2019 yang saling memberikan dukungan.

HALAMAN MOTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya..."

(Q.S Al Baqarah: 286)

"Barangsiapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Dia akan memberi jalan keluar."

(QS. At-Talaq: 2)

Man jadda wajada

(Barang siapa yang bersungguh-sungguh, ia akan mencapai tujuannya)

"Pendidikan adalah senjata paling ampuh yang dapat Anda gunakan untuk mengubah dunia."

(Nelson Mandela)

"Iman tanpa ilmu bagaikan lentera di tangan bayi. Namun ilmu tanpa iman, bagaikan lentera di tangan pencuri."

(Buya Hamka)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji serta syukur penulis hadiahkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT, atas berkat limpahan rahmat, karunia, serta kesehatan jasmani dan rohani yang diberikan-Nya, penulis mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Maintenance Jaringan MVTIC Menggunakan Hv-test Pada PLN ULP Weleri” Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana pada Fakultas Teknologi Industri, Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis mendapatkan banyak bantuan secara langsung dan tidak langsung dengan pengajaran, bimbingan, dan arahan selama proses menyusun tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan penghargaan dan rasa terima kasih kepada:

Allah SWT, yang senantiasa memberikan rahmat, ridha, ketabahan, kesabaran, serta kelapangan hati dan pikiran kepada penulis dalam menuntut ilmu.

1. Orang tua yang selalu mensupport penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini dan selalu mendoakannya.
2. Bapak Muhammad Qomaruddin, S.T.,M.Sc.,Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Munaf Ismail, S.T.,M.T. Selaku ketua Jurusan di Jurusan Teknik elektro Universitas Islam Sultan Agung.
4. Prof. Dr. Hj. Sri Arrtini Dwi Prasetyowati, M.Si. Selaku wali dosen penulis Teknik Elektro 2019.
5. Bapak Dr. Gunawan, S.T,M.T selaku dosen pembimbing yang sudah meluangkan waktu selama proses bimbingan.
6. Bapak Munaf Ismail, S.T., M.T. Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.

7. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan untuk menyusun tugas akhir ini.
8. Teman Teknik Elektro angkatan 2019 senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa.

Semarang, Februari 2026

Muhammad Luay Rizqy Sunarko Putra



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik	14
2.2.2 Jaringan 20 kv.....	15

2.2.3 Gangguan Pada Saluran Distribusi	19
2.2.4 Pengujian Tegangan Tinggi	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Model Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan	28
3.3 Data dan Sumber Data.....	29
3.4 Teknik Analisis Data	30
3.5 Flowchart.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Analisis Kerusakan dan Masalah pada Kabel MVTIC ULP Weleri	33
4.2 Pengujian Jaringan MVTIC Menggunakan HV-Test.....	34
4.2.1 Persiapan Pengujian.....	35
4.2.2 Tahap Pelaksanaan HV-Test.....	36
4.2.3 Hasil Dan Analisis Pengujian HV-Test	36
4.3 Pengaruh Hasil Analisis HV-Test Terhadap Maintenance Jaringan MVTIC ULP Weleri.....	40
BAB V PENTUP	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Pembangkit Listrik [4].....	14
Gambar 2. 2 Konduktor AAAC [11].....	16
Gambar 2. 3 Jaringan MVTIC [4].....	17
Gambar 2. 4 Anatomi Kabel MVTIC [4].....	19
Gambar 2. 5 Alat HV-Test	24
Gambar 3. 1 Model Pengujian HV-Test	28
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian.....	32



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Jaringan MVTIC PLN ULP Weleri.....	30
Tabel 4. 1 Analisis Kerusakan Pada Kabel MVTIC	34
Tabel 4. 2 hasil pengukuran sebelum dilakukan perbaikan	37
Tabel 4. 3 hasil pengukuran setelah dilakukan perbaikan dan penggantian segmen kebel.	40



ABSTRAK

Keandalan penyaluran tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi, khususnya jaringan tegangan menengah yang menggunakan *Medium Voltage Twisted Insulated Cable* (MVTIC). Degradasi isolasi kabel yang terjadi secara internal sering kali tidak dapat teridentifikasi melalui inspeksi visual dan berpotensi menimbulkan gangguan operasional. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi jaringan MVTIC di PLN ULP Weleri, menilai kelayakan isolasi kabel menggunakan metode *High Voltage Test* (HV-Test), serta mengklasifikasikan tingkat kerusakan dan pola degradasi isolasi kabel. Metode yang digunakan bersifat deskriptif kuantitatif melalui pengujian tegangan tinggi di lapangan dengan pemberian tegangan uji hingga 24,02-24,04 kV dan pengukuran arus bocor pada fasa (R,S,T) kabel. Hasil pengujian awal menunjukkan nilai arus bocor yang bervariasi, dengan nilai tertinggi mencapai 45,78 mA pada fasa R, yang mengindikasikan kondisi isolasi kritis. Setelah dilakukan perbaikan dan penggantian segmen kabel, nilai arus bocor menurun secara signifikan dan berada pada rentang 0,1 mA hingga 0,7 mA, sehingga seluruh fasa dinyatakan layak operasi. Hasil analisis membuktikan bahwa metode HV-Test efektif dalam mendeteksi degradasi isolasi internal dan mendukung penerapan pemeliharaan jaringan MVTIC berbasis kondisi untuk mencegah terjadinya kegagalan isolasi total akibat pengaruh lingkungan dan penuaan material.

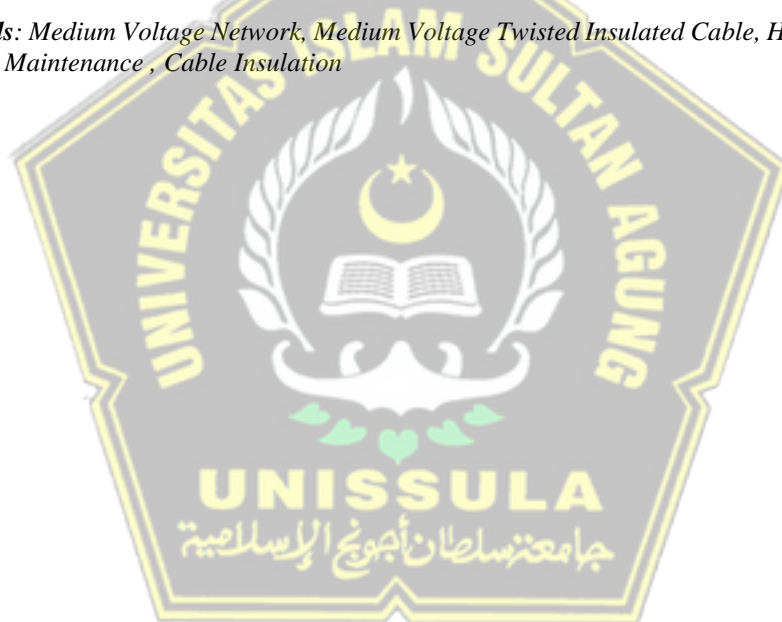
Kata kunci: *Jaringan Tegangan Menengah, MVTIC, High Voltage Test, Pemeliharaan Jaringan, Isolasi Kabel*



ABSTRACT

The reliability of electric power distribution is greatly influenced by the condition of the distribution network, especially the medium voltage network that uses Medium Voltage Twisted Insulated Cable (MVTIC). Internal cable insulation degradation that occurs often cannot be identified through visual inspection and has the potential to cause operational disruptions. This study aims to evaluate the condition of the MVTIC network at PLN ULP Weleri, assess the suitability of cable insulation using the High Voltage Test (HV-Test) method, and classify the level of damage and degradation patterns of cable insulation. The method used is descriptive quantitative through high voltage testing in the field by applying a test voltage of up to 24,02-24,04 kV and measuring the leakage current on each cable phase (R,S,T). Initial test results showed varying leakage current values, with the highest value reaching 45.78 mA on one phase R, which indicates a critical insulation condition. After repairs and replacement of cable segments, the leakage current value decreased significantly and was in the range of 0.1 mA to 0.7 mA, so that all phases were declared operationally fit. The analysis results prove that the HV-Test method is effective in detecting internal insulation degradation and supports the implementation of condition-based MVTIC network maintenance to prevent total insulation failure due to environmental influences and material aging.

Keywords: *Medium Voltage Network, Medium Voltage Twisted Insulated Cable, High Voltage Test, Network Maintenance , Cable Insulation*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan Listrik Negara, atau PT. PLN (Persero), adalah perusahaan yang bergerak di bidang jasa yang dikelola oleh pemerintah dan didirikan untuk memberikan layanan listrik kepada pelanggan. Pendistribusian listrik untuk berbagai kebutuhan rumah tangga, sosial, dan bisnis adalah bisnis utama perusahaan. Pemakaian listrik untuk banyak alat yang mendukung aktivitas manusia menunjukkan bahwa listrik telah menjadi bagian dari kehidupan manusia. Seiring dengan berkembangnya berbagai aspek masyarakat, kebutuhan energi listrik akan terus meningkat dan meningkat setiap tahunnya. Di era modern, listrik merupakan kebutuhan vital manusia yang menunjang sektor rumah tangga, bisnis, hingga industri.

Tenaga listrik adalah kebutuhan vital bagi manusia karena banyaknya teknologi yang digunakan saat ini, seperti rumah tangga, bisnis, dan industri. PT. PLN (Persero) sebagai penyedia jasa ketenagalistrikan berupaya menjaga kualitas penyaluran tenaga listrik, namun seringkali terkendala oleh susut teknis (technical losses). Besarnya impedansi pada penghantar yang berubah menjadi panas, yang dipengaruhi oleh beban induktif dan karakteristik jaringan, menyebabkan susut teknis ini. Susut teknis ini terjadi ketika energi listrik hilang dari pembangkit ke pelanggan. Penghantar panas karena impedansi yang besar. Tingginya impedansi, beban induktif, dan sifat induktif jaringan menyebabkan sumbatan teknis. Perencanaan pemecahan beban untuk penyulang WLI02 dan WLI05 ke penyulang WLI01 baru ini dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kerusakan teknis yang terjadi pada penghantar Jaringan Tegangan Menengah. Salah satu kriteria kerugian yang dianalisis adalah rugi daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan pemecahan beban WLI02 dan WLI05 ke penyulang baru telah mengurangi susut teknis penghantar, masing-masing sebesar 118,3 KW menjadi 79,3 KW, yang menghasilkan saving kWh sebesar 194,472 dan 31,536, masing-masing.

PT. PLN ULP Weleri yang berada di bawah koordinasi UP3 Semarang (Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Distribusi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta) memiliki karakteristik medan operasional yang cukup kompleks. Wilayah kerja ULP Weleri meliputi daerah pemukiman, kawasan pertanian, serta wilayah perbukitan dengan kondisi geografis yang bervariasi. Selain itu, daerah ini memiliki tingkat kerawanan gangguan yang cukup tinggi terutama pada musim hujan yang disertai angin kencang, yang dapat menyebabkan pohon tumbang atau dahan menyentuh jaringan JTM. Kondisi tersebut meningkatkan risiko gangguan jaringan, baik berupa gangguan temporer maupun permanen. Sebagai upaya menjaga keandalan jaringan, ULP PLN Weleri secara rutin melaksanakan kegiatan pemeliharaan preventif berupa inspeksi jaringan, perawatan kabel, isolator, dan tiang, serta penebangan atau pemangkasan vegetasi yang mendekati jaringan. Kegiatan pemeliharaan tersebut sering dilakukan di wilayah-wilayah seperti Sumberagung, Traju, Lumbu, Manggungsari, Tejorejo, Ringinarum, Kemiri, Kedungasri, Kedunggading, Ngerjo, dan Jatogowok. Namun, pemeliharaan fisik saja belum cukup tanpa didukung pengujian teknis terhadap kualitas isolasi kabel, khususnya pada jaringan MVTIC yang terpapar kondisi lingkungan ekstrem.

Oleh karena itu hal tersebut perlu adanya pembaharuan, Jaringan *Medium Voltage Twisted Insulated Cable* (MVTIC) adalah suatu sistem jaringan listrik yang menggunakan kabel isolasi berpilin (*twisted*) pada tegangan menengah. Sistem ini umumnya digunakan untuk mengirimkan listrik pada tegangan yang lebih tinggi daripada jaringan rendah tegangan (*Low Voltage*), tetapi lebih rendah daripada jaringan tegangan tinggi (*High Voltage*). MVTIC digunakan dalam distribusi tenaga listrik di area yang lebih luas, seperti perkotaan atau pedesaan. Alat yang digunakan untuk maintenance jaringan MVTIC yaitu HV-Test, HV-Test ini di gunakan pada jaringan MVTIC pada ULP weleri sebagai penanganan kabel jaringan tegangan menengah 20 kv. Pemeliharaan pada jaringan MVTIC diperlukan untuk mencegah terjadinya *breakdown* pada lapisan isolasi *Cross-Linked Polyethylene* (XLPE). Kerusakan isolasi yang tidak terdeteksi dapat memicu *short circuit* saat kawat grounding bersentuhan dengan konduktor fasa, yang mengakibatkan pemadaman listrik yang berulang dan kerugian ekonomi bagi

penyedia jasa maupun konsumen. Oleh karena itu, penggunaan alat HV-Test (High Voltage Test) menjadi krusial untuk mendeteksi arus bocor dan memvalidasi keandalan sistem isolasi sebelum terjadi kegagalan fungsi (malfunction). Selain itu untuk meminimalisir gangguan dan meningkatkan keamanan adalah penggunaan Medium Voltage Twisted Insulated Cable (MVTIC) pada jaringan tegangan menengah 20 kV. Meskipun MVTIC memiliki keunggulan dalam mengurangi gangguan eksternal dibandingkan saluran udara telanjang, kabel ini tetap memerlukan maintenance rutin karena kualitas isolasi dapat menurun seiring waktu

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan analisis lebih lanjut terhadap jaringan MVTIC menggunakan metode HV-Test sebagai salah satu upaya untuk memastikan tingkat keandalan dan kelayakan isolasi kabel pada jaringan distribusi 20 kV di PLN ULP Weleri. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi aktual jaringan MVTIC serta menjadi bahan evaluasi dalam peningkatan strategi pemeliharaan jaringan distribusi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada diperoleh perumusan masalah untuk dilakukan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi teknis material jaringan MVTIC pada ULP Weleri?
2. Bagaimana efektivitas penggunaan metode HV-Test dalam mendeteksi kerusakan isolasi pada jaringan MVTIC pada ULP Weleri ?
3. Bagaimana pengaruh hasil analisis HV-Test terhadap maintenance jaringan MVTIC ULP Weleri?

1.3 Batasan Masalah

Untuk pembahasan yang lebih dalam maka penelitian ini penulis membatasi ruang lingkup pembahasan antara lain:

1. Penelitian tentang gangguan jaringan MVTIC.
2. Perhitungan gangguan jaringan MVTIC menggunakan alat HV Test.
3. Studi kasus yang dilakukan di batasi pada studi kasus yang ada pada PLN ULP Weleri.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi jaringan MVTIC pada ULP weleri.
2. Mengukur dengan menggunakan HV-Test sebagai solusi permasalahan jaringan MVTIC pada ULP weleri.
3. Mengklasifikasikan kerusakan pada jaringan MVTIC dan memahami penyebab serta pola kerusakan.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara memaksimalkan potensi jaringan MVTIC.
2. Meningkatkan keandalan oprasional jaringan MVTIC.
3. Memperpanjang masa pakai jaringan MVTIC.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk membuat penelitian ini lebih mudah dipahami, ada beberapa sistematika yang digunakan saat menulis laporan penelitian ini. Sistematika ini termasuk:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penulisan penelitian, tujuan serta gambaran secara umum tentang masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Berisi tentang bebrapa landasan teori tentang penelitian yang sudah dilakukan, dan teori – teori mengenai peralatan yang terkait dengan penyusunan penelitian ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tentang model penelitian, data, objek penelitian, peralatan yang digunakan pada penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Berisi tentang analisa dan perhitungan Kerusakan dan Masalah pada Kabel MVTIC ULP Weleri menggunakan MV-Test

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran dari analisa dan pembahasan dari penelitian yang sudah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini digunakan sebagai referensi dan digunakan sebagai perbandingan dengan studi penelitian sebelumnya tentang subjek yang sama:

- A. Meninjau penelitian yang telah dilakukan oleh Syukri, Mulyadi dan Ali Akbar pada penelitiannya yang berjudul “Analisa Perhitungan Susut Teknis di PT. PLN (PERSERO) Rayon Singkil”. Analisis hasil menunjukkan bahwa PT. PLN (Persero) Rayon Singkil dapat mengurangi kerugian teknis dengan meningkatkan pemeliharaan infrastruktur, pengawasan, pengelolaan sumber daya, dan penerapan teknologi baru. Solusi ini juga melibatkan penerapan rencana tindak lanjut yang jelas dan terperinci serta pengukuran keberhasilan implementasi. Melibatkan pemangku kepentingan dalam proses perbaikan, membuat sistem pelaporan dan evaluasi rutin, dan mendidik karyawan terkait tentang cara manajemen yang efektif dapat mengurangi kerugian teknis. Pendidikan juga perlu diberikan dan dapat memantau penerapan solusi, berpartisipasi aktif dalam upaya peningkatan kontraksi teknis [1].
- B. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Ehsan Gord, Rahman Dasthi, Mojtaba Najafi dan Hamid Reza Shaker pada penelitiannya yang berjudul “Estimasi Bagian Gangguan Nyata Pada Kelistrikan Jaringan Distribusi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Analisa Komponen ”. Menurut penelitiannya lokasi gangguan pada jaringan distribusi tenaga listrik, dengan mempertimbangkan perubahan jarak gangguan dan ketahanan gangguan terhadap adanya berbagai jenis gangguan. Metode cerdas yang disarankan bergantung pada estimasi impedansi dan transien. Analisis impedansi spesifik menggunakan kinerja, jarak, dan ketahanan gangguan yang berbeda dari sistem distribusi daya yang tidak seimbang untuk menentukan lokasi potensial gangguan. Untuk menentukan laju gangguan aktual

digunakan analisis kandungan frekuensi gangguan aktual dan simulasi gangguan pada lokasi gangguan yang mungkin terjadi. Terlihat bahwa beberapa kondisi jaringan distribusi tenaga listrik mempengaruhi secara signifikan keakuratan [2].

- C. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Fajar Sayidul Yoam pada penelitiannya yang berjudul “Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik”. Menurut penelitiannya Seiring bertambahnya jumlah konsumen, maka tuntutan terhadap kualitas pasokan energi listrik pun semakin meningkat. Bentuk tuntutan penyediaan tenaga listrik adalah dengan menjaga ketersediaan tenaga listrik secara terus menerus dan terjangkau oleh masyarakat sebagai konsumen. Keandalan ini diukur dari kemampuan suatu penyedia tenaga listrik dalam menyediakan tenaga listrik secara terus menerus kepada konsumen dalam kurun waktu satu tahun. Hal yang paling mendasar dalam penyaluran tenaga listrik adalah kualitas, kontinuitas, dan ketersediaan pelayanan listrik kepada pelanggan [3].
- D. Meninjau penelitian yang di lakukan oleh Fika Arlida Rista pada penelitiannya yang berjudul “Perhitungan jarak Hubung singkat saluran kabel udara tegangan menengah 20 kv penyulang kpk 01 semarang”. Menurut penelitiannya Penggunaan penghantar telanjang memiliki banyak kelebihan sehingga penggunaannya masih sangat luas antara lain: biaya investasi saluran per kilometeryang murah, pemeliharaan yang mudah, dan proses pelacakan gangguan yang sederhana sehingga lokasi dan penyebab gangguan mudah ditemukan. Terdapat beberapa kekurangan pada sistem saluran penghantar udara telanjang seperti tingginya angka gangguan akibat faktor eksternal seperti petir, pohon dan hewan pada musim-musim tertentu. Jenis gangguan ini sebagian besar terdiri dari gangguan satu fasa ke tanah atau *unsymmetrical fault* yang menyumbang hingga 63% jumlah gangguan menurut Burke dan Lawrence [4].
- E. Meninjau penelitian yang di lakukan oleh Salsah Lutvi Ramadani dan Muh.Faiz Ramadhan pada penelitiannya yang berjudul “Analisis teknis dan ekonomis pemeliharaan peralatan saluran udara tegangan menengah

(SUTM) PT.PLN (PERSERO) up3 makassar utara” menurut penelitiannya Susut energi pada sistem kelistrikan berpengaruh terhadap faktor ekonomis susut energi yang besar berarti pemborosan dan dapat menyebabkan kerugian energi listrik, salah satu upaya meningkatkan kualitas sistem kelistrikan dengan cara pemeliharaan peralatan-peralatan yang baik pada sistem tenaga dapat beroperasi dengan baik, sehingga kebutuhan energi listrik konsumen dapat terlayani dengan baik dengan tingkat keandalan yang tinggi, Gangguan pada peralatan tersebut menjadi permasalahan dari sistem pengoperasian listrik secara ekonomi pada pemeliharaan peralatan tenaga listrik saluran udara tegangan menengah (SUTM) jaringan ini susut energi relatif tinggi dan pemeliharaan berdampak besar terhadap penekanan susut energi dan peningkatan keadaan sistem [5].

- F. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Aria Maigawa Siregar, Badriana, Habib Muharry Yusdartono, Arnawan Hasibuan pada penelitiannya yang berjudul “Perbaikan nilai susut teknis jaringan menengah” menurut penelitiannya Dalam pendistribusian energi listrik terdapat kendala yang dapat mengurangi daya listrik yang dialirkan, satu diantaranya adalah losses atau susut daya listrik. Losses atau susut daya listrik adalah berkurangnya energi listrik yang diterima oleh konsumen, artinya ada sebagian energi listrik yang hilang pada proses pendistribusian, dalam hal ini pihak penyedia energi listrik (PLN) menderita kerugian. karena itu, penertiban pemakaian tenaga listrik sangat lah penting dimana menyangkut perencanaan, pemeriksaan, tindakan dan juga penyelesaian terhadap instalasi pemakai tenaga listrik dari PLN. Dimana besarnya susut energi dari PLN berupa prosentase global maka untuk dapat menekan angka susut energi lebih efektif yaitu dengan memisahkan susut antara teknis dengan non teknis. Sehingga dapat diidentifikasi penyebab utama susut distribusi tersebut [6].
- G. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Karel Octavianus Bachri, Edoardo Jonathan, Arka Dwinanda Soewono pada penelitiannya yang berjudul “Analisis gangguan pada system gardu induk listrik berbasis gas

insulated switchgear 150 kv dengan metode *high voltage test*” menurut penelitiannya hasil pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi (HV Test) yang dilakukan pada sistem Gas Insulated Switchgear di gardu induk Tigaraksa II yang telah dilakukan, bahwa sistem GIS tersebut masih memiliki sistem isolasi yang baik untuk tiga fase (R,S dan T) ketika dialiri listrik tegangan tinggi, serta tiap komponennya masih berfungsi dalam mengisolasi energi listrik di gardu tersebut. Hasil pengukuran Insulation Resistance menunjukkan bahwa tiap komponen pada GIS masih memiliki nilai yang jauh di atas besaran standar minimum sebesar 5 M Ω sehingga dapat dipastikan bahwa tidak ada komponen yang mengalami malfunction [7].

- H. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Syaini Anjani, Martin Sembiring pada penelitiannya yang berjudul “Pemeriksaan dan Pemeliharaan jaringan distribusi saluran udara tegangan menengah di PLN Medan Sunggal Pada Beeter PL-06” menurut penelitiannya mengenai pemeriksaan dan pemeliharaan jaringan distribusi saluran udara tegangan menengah penulis menyimpulkan bahwa Gangguan yang paling sering terjadi pada gardu distribusi pasang luar di ULP Medan Sunggal adalah gangguan pada penyulang PL-06 yaitu sebanyak 7 kali dalam periode november s.d januari 2022. Pemeliharaan ini dilakukan untuk mengurangi gangguan gangguan yang terjadi pada penyulang PL-06 agar penyaluran distribusi tenaga listrik ke pelanggan lebih optimal dan masyarakat tidak mengalami pemadaman yang berulang kali [8].
- I. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Kadek Doni Widiartawan pada penelitiannya yang berjudul “Analisis Gangguan pada saluran udara tegangan menengah penyulang batur sari di ULP sanur” menurut penelitiannya gangguan pada isolator tumpu, isolator tarik, kabel MVTIC, dan Kabel AAACS. Penyebab gangguan gangguan ini di akibatkan beberapa faktor yaitu faktor eksternal (pihak ketiga, binatang, pohon, alam/cuaca) serta ada faktor penyebab gangguan yaitu dari faktor internal (dari komponen itu sendiri). persentase jenis-jenis Gangguan pada

penyulang Batur Sari yang terjadi yaitu didapat hasil persentase jenis gangguan pada Isolator Tumpu sebanyak 8 kali atau 50 %, gangguan pada isolator tarik sebanyak 3 kali atau sebesar 19 %, gangguan pada MVTIC 19 % atau sebanyak 3 kali, dan gangguan pada AAACS sebanyak 2 kali atau sebesar 12 %. Gangguan tertinggi disebabkan oleh isolator tumpu dan yang terendah yaitu disebabkan oleh gangguan AAACS [9].

- J. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Zikra Rufina, I Wayan Ratnata, Hasbullah pada penelitiannya yang berjudul “Analisis tegangan tembus kabel instalasi listrik” menurut penelitiannya Kualitas material isolasi kabel uji berlabel standar dikatakan baik karena pada pengujian normal berdasarkan persyaratan uji tegangan tembusnya hingga melebihi tegangan uji standar setiap kabel tersebut tidak tembus listrik (breakdown). Sedangkan kualitas isolasi kabel non-standar dikatakan buruk karena tembus listrik pada waktu yang singkat ketika tegangan ujinya telah melebihi tegangan kerja, Pengujian tegangan tembus isolasi kabel dilakukan dengan uji tegangan arus bolak balik (AC) menggunakan HV Test Transformer tipe HV 9105 dengan spesifikasi kapasitas maksimum tegangan sampai 100 kV. Pengukuran dilakukan dengan instrument alat ukur yang ada pada Control Desk tipe HV 9103. Terjadinya tembus listrik tergantung pada lamanya/ durasi pengujian [10].
- K. Meninjau penelitian yang dilakukan oleh Nabila Meitri Mugandi, Liliana pada penelitiannya yang berjudul “Pemeliharaan jaringan distribusi SUTM 20 kV penyulang mawar ULP Kapar” menurut penelitiannya penyebab terjadinya trip pada jaringan distribusi yaitu pada faktor internal, gangguan pada SUTM 20 kV, kerusakan peralatan distribusi tenaga listrik yang berdampak pada pemadaman listrik. Sedangkan pada faktor eksternal yaitu seperti ranting pohon yang menyangkut pada jaringan SUTM 20 kV, binatang, layang-layang, bencana alam, pekerjaan pihak III. Gangguan jaringan distribusi 20 kV pada penyulang Mawar yaitu ditemukan sebanyak 59,7 kms ranting pohon yang telah mengenai jaringan, sekitar 25 FCO yang sudah rusak, 5 buah tiang dalam posisi miring, 4 buah kawat yang telah

pecah, 9 Lightning Arrester sudah rusak dan harus diganti di zona 2 yaitu di air tiris sampai dengan pasar buah, dan ditemukan sebanyak 50 pin pecah. Langkah pemeliharaan yang dilakukan PT. PLN (Persero) ULP Kampar untuk meningkatkan keefektifan jaringan distribusi 20 kV di penyulang Mawar dengan melakukan pemeliharaan preventif salah satunya seperti pemeliharaan ROW (Right Of Way) [11].

- L. Meninjau penelitian yang dilakukan Nurmiati Pasra, Andi Makkulau, Muhammad Hasil Adnan pada penelitiannya yang berjudul “ Gangguan yang terjadi pada Sistem Jointing pada Saluran Kabel Tegangan Menengah 20kV” Menurut penelitiannya Dalam menyalurkan energi listrik ke pelanggan, diperlukan sistem tenaga listrik yang handal. Gangguan pada suatu sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari. Umumnya gangguan pada saluran bawah tanah, titik rawan gangguan terjadi pada sambungan kabel (jointing). Gangguan yang terjadi pada SKTM pada jointing yaitu adanya Partial Discharge. Pengujian kabel pada penyulang Debur B 329 sampai B 162 kondisi kabel dalam keadaan sangat buruk. Letak kondisi kabel yang buruk ada pada jarak 59 sampai 91 m dan 190 sampai 220 m, dengan kapasitas $0.272 \mu\text{F}$ dan frekuensi 353.98 Hz. Maka dilakukanlah pengujian kabel untuk mengetahui adanya gangguan pada saluran kabel dan letak terjadinya gangguan sehingga dapat segera dilakukan perbaikan atau penggantian pada kabel yang mengalami gangguan [12].
- M. Meninjau penelitian yang dilakukan Chairul Nazalul Anshar dan Budiman pada penelitiannya yang berjudul “Studi Kasus Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Gangguan pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV” Menurut penelitiannya Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan arus yang mengalir lebih besar sehingga dapat merusak peralatan bila tidak dilengkapi dengan proteksi yang tepat. Perhitungan diperoleh arus gangguan yang paling besar yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa sedangkan arus gangguan yang paling kecil yaitu gangguan satu fasa ke tanah. Jika gangguan semakin dekat dengan sumber

maka gangguan semakin besar sedangkan jika gangguan jauh dari sumber gangguan akan semakin kecil. Arus gangguan satu fasa ke tanah merupakan arus gangguan yang paling kecil dibandingkan gangguan hubung singkat tiga fasa dan dua fasa. Hasil perhitungan didapatkan di dapat arus gangguan pada titik gangguan 1% sebesar 286 A sedangkan pada titik gangguan 100% di dapat arus gangguan sebesar 207 A. Dampak yang terjadi pada gangguan hubung singkat tersebut adalah terjadi arus lebih (over curent), untuk mengurangi gangguan sebaiknya kawat A3C sebaiknya di ganti dengan kabel berisolasi yaitu kawat A3CS [13].

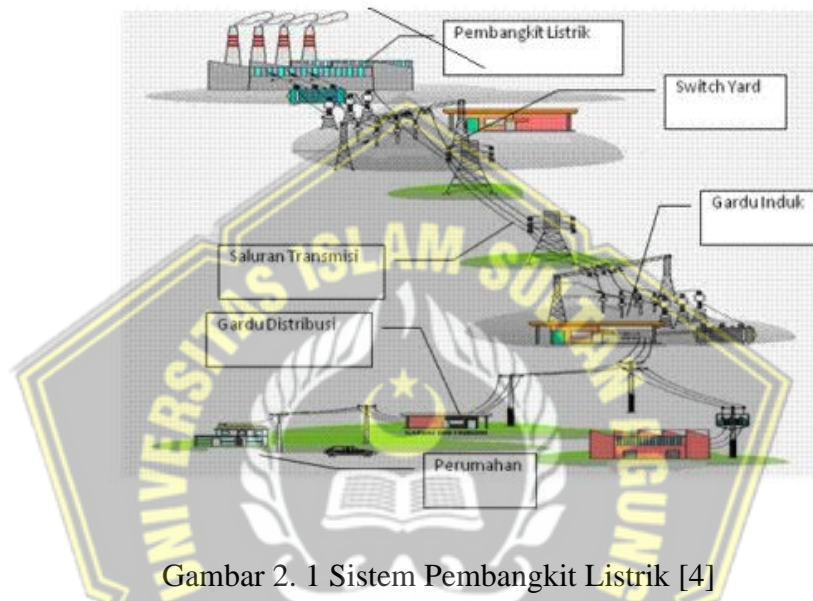
- N. Meninjau penelitian yang di lakukan Agus Salim, Ahmad Rizql Sultan, Ahsan Akmal pada penelitiannya yang berjudul “ Analisis Perbandingan Sistem Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)” menurut penelitiannya Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (bulk power source) sampai ke konsumen. Penelitian ini untuk menentukan perbandingan nilai daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S) antara nilai praktik dan nilai teori pada SKUTM dan SKTM serta untuk menentukan besar selisih antara tegangan pengirim dan tegangan penerima pada SKUTM dan SKTM. Penelitian diperoleh dengan pengumpulan data-data yang dibutuhkan kemudian dibuatkan tabel dan grafik menggunakan aplikasi matlab R2013a kemudian menganalisis dengan menggunakan analisis deskriptif dan perhitungan berdasarkan teori. Selain aplikasi matlab R2013a, digunakan juga software ETAP 12.6.0 untuk melakukan simulasi. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu hasil perbandingan nilai praktik dan teori antara daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu pada SKUTM maupun SKTM tidak jauh berbeda. Selanjutnya hasil perbandingan selisih tegangan pengirim dan tegangan penerima kondisi tanpa kompensasi maupun dengan kompensasi pada kabel udara lebih besar dibandingkan kabel tanah [14].
- O. Meninjau penelitian yang di lakukan Andi Jaelani Pratama Syah pada penelitiannya yang berjudul “Penentuan Faktor Dominan Penyebab

Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah untuk Analisa Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik unit Layanan Pelanggan (ULP) daya” menurut penelitiannya energi listrik merupakan salah satu faktor pendukung yang penting baik untuk kehidupan manusia maupun infrastruktur yang ada sebab itu dalam penyaluran energi listrik harus andal. Sehingga segala jenis gangguan perlu diminimalisir, agar tetap menjaga keandalan pendistribusian energi listrik. Oleh sebab itu pengembangan system distribusi energi listrik sangat esensial dalam mengatasi hal tersebut. Jaringan distribusi yang sangat rawan akan terjadinya gangguan eksternal adalah jaringan distribusi dengan penghantar terbuka yang saat ini sebagian besar masih digunakan di PT. PLN ULP Daya meskipun secara bertahap mulai menggantinya dengan penghantar yang berisolasi. Sehingga penting untuk menentukan faktor dominan penyebab gangguan SUTM sekaligus menganalisa indeks keandalan melalui perhitungan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI dengan mengikuti standar SPLN 68-2:1986. Berdasarkan hasil penelitian terdapat tujuh gangguan eksternal yang terjadi pada lima penyulang di ULP Daya pada tahun 2021, diantaranya diakibatkan oleh gangguan alam, layang-layang dan umbul-umbul, binatang/pekerja pihak 3, pohon, tidak jelas, komponen JTM, dan tiang. Dari ke-tujuh penyebab gangguan tersebut, gangguan yang paling dominan adalah gangguan akibat komponen JTM yang memiliki frekuensi dan durasi gangguan yang lebih banyak dan lama dari gangguan lainnya [15].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sistem yang terdiri dari beberapa bagian, yaitu pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban, yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk memenuhi kebutuhan listrik pelanggan [16]. Ditunjukkan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2. 1 Sistem Pembangkit Listrik [4]

Fungsi komponen dari gambar diatas sebagai berikut:

1. Pembangkitan adalah bagian dari pembangkitan yang menghasilkan listrik dengan mengubah energi dari berbagai sumber energi, seperti air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, dan sebagainya, menjadi listrik.
2. Transmisi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Distribusi adalah bagian yang mengirimkan energi listrik ke tempat konsumen.
4. Beban adalah peralatan listrik di tempat konsumen yang menggunakan listrik dari sistem.

Trafo *step up* 150-500 kV digunakan untuk mengubah listrik dari pembangkit, kemudian disalurkan melalui sistem transmisi SUTT 150-500 kV dan SUTET 500-500 kV ke Gardu Induk. Kemudian, trafo *step down* 20 kV

digunakan untuk mengubah listrik untuk konsumen tinggi dan menengah, dan trafo step down 380/220 kV digunakan untuk mengubah listrik untuk konsumen rendah.

2.2.2 Jaringan 20 kv

Sistem tenaga listrik terdiri dari jaringan distribusi, yang merupakan jaringan penghantar yang menghubungkan gardu induk pusat beban ke pelanggan. Pelanggan menerima energi listrik langsung dari jaringan distribusi ini saat diperlukan. Gardu induk distribusi terletak di ujung saluran transmisi dan berfungsi untuk mengatur distribusi daya yang diterima dari saluran transmisi sambil menurunkan tegangan dari level saluran transmisi ke level jaringan distribusi. Selama beroperasi, jaringan distribusi tidak dapat dipisahkan dari gardu induk distribusi. Gardu induk distribusi lainnya berada di antara jaringan distribusi. Mereka membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah.

Suatu bagian dari sistem distribusi memungkinkan distribusi terhubung langsung ke peralatan konsumen. Jaringan distribusi utama biasanya mengirimkan beban ke area tertentu dengan tegangan 3 kV hingga 34,5 kV. Jenis saluran distribusi tenaga listrik tegangan menengah dan macam-macam konstruksinya sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), yang paling banyak digunakan oleh pengguna jaringan Tegangan Menengah di Indonesia, adalah konstruksi termurah untuk menyalurkan tenaga listrik pada jumlah daya yang sama. Salah satu fitur utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang berjenis AAAC (*all aluminium alloy conductor*) yang ditopang dengan isolator pada tiang besi atau beton. Jika penghantar telanjang digunakan, faktor keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimal yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV antara fase, bangunan, tanaman, atau manusia harus diperhatikan. Kelompok yang diklasifikasikan SUTM termasuk penggunaan penghantar berisolasi setengah AAAC-S. Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan

sentuh yang diperlukan, tetapi mengurangi risiko gangguan sementara, terutama akibat sentuhan tanaman [16], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Konduktor AAAC [11]

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, juga dikenal sebagai jaringan MVTIC, menggunakan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah untuk meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik.

Jaringan Medium Voltage Twisted Insulated Cable (MVTIC) adalah suatu sistem jaringan listrik yang menggunakan kabel isolasi berpilin (twisted) pada tegangan menengah. Sistem ini umumnya digunakan untuk mengirimkan listrik pada tegangan yang lebih tinggi daripada jaringan rendah tegangan (Low Voltage), tetapi lebih rendah daripada jaringan tegangan tinggi (High Voltage).

MVTIC digunakan dalam distribusi tenaga listrik di area yang lebih luas, seperti perkotaan atau pedesaan. Kabel isolasi berpilin ini biasanya terdiri dari beberapa inti kabel yang dilapisi dengan bahan isolasi yang tahan terhadap tegangan menengah. Hal ini membantu melindungi kabel dari kerusakan dan kebocoran listrik saat digunakan dalam jaringan listrik yang terpapar tegangan yang lebih tinggi.

Sistem MVTIC juga biasanya melibatkan penggunaan peralatan pendukung seperti trafo tegangan menengah, panel pengendali, dan perlengkapan pelindung lainnya untuk memastikan pengiriman listrik yang aman dan efisien.



Gambar 2. 3 Jaringan MVTIC [4]

Penggunaan kabel isolasi berpilin pada jaringan tegangan menengah membantu mengurangi gangguan listrik, kebocoran arus, dan kerugian daya yang dapat terjadi dalam sistem jaringan listrik. Selain itu, kabel isolasi ini juga membantu mengurangi kecelakaan dan cedera karena kebocoran listrik pada jaringan tersebut[16].

Adapun konstruksi dari penghantar berjenis MVTIC adalah sebagai berikut:

- Konduktor

Penghantar berbahan aluminium berukuran 240mm^2 yang dikemas dalam bentuk *stranded compacted*. Dikemas seperti ini, konduktor tidak memiliki celah rongga yang besar. Ini mencegah air atau cairan masuk ke dalam konduktor saat disimpan, diangkat, diinstal, atau digunakan, yang dapat merusak kekuatan struktur penghantar karena panas berlebih.

- Film Semikonduktor atau *Semiconductor Screen*

Inti konduktor kabel MVTIC terbuat dari serat dengan permukaan yang tidak rata, yang mengakibatkan distribusi medan listrik yang tidak rata. Untuk memastikan distribusi medan listrik merata di setiap permukaan, film

semikonduktor dengan ketebalan 0,5 milimeter dipasang pada permukaan konduktor. Selain itu, layar semiconductor ini sangat cocok dengan lapisan isolasi XLPE, yang mengurangi partial discharge antara konduktor dan lapisan isolasi.

- Lapisan isolasi XLPE (Cross-Linked Polyethylene)

Lapisan cross-linked polyethylene (XLPE) adalah lapisan utama yang melindungi kawat penghantar dari potensi tanah. XLPE telah digunakan secara luas untuk isolasi kabel tegangan tinggi karena memiliki kapasitas dielektrik yang sangat tinggi, stabilitas termal, dan tahan terhadap cairan bahan kimia.

- Lapisan Semikonduktor

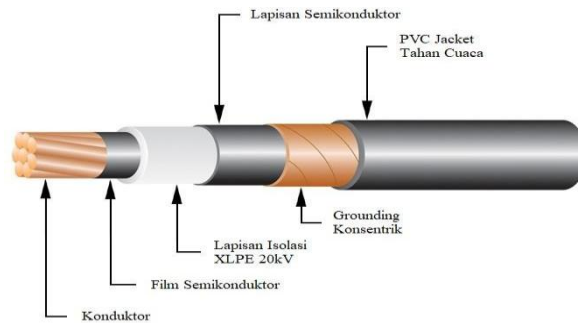
Lapisan semikonduktor yang dilapisi dengan serat kain yang berfungsi untuk menahan air atau cairan sehingga tidak mengalir didalam kabel.

- Grounding Konsentrik

Kawat tembaga dan pita tembaga yang dipasang di sekitar kabel MVTIC berfungsi sebagai kawat netral untuk membawa arus netral dari jaringan. Dikenal sebagai kawat ground konsentrik atau concentric neutral. Selain itu, ground konsentrik ini menjamin bahwa medan magnetic yang dihasilkan oleh konduktor tegangan tinggi tidak mengganggu kabel telekomunikasi atau kabel lainnya. Grounding konsentrik ini juga membantu mencegah isolasi kabel rusak karena benturan. Jika lapisan XLPE rusak, kawat grounding akan bersentuhan dengan konduktor fasa, menyebabkan short circuit. Akibatnya, peralatan perlindungan harus bekerja.

- PVC Jacket

Ditunjukkan pada gambar di bawah ini, jaket PVC adalah lapisan terluar dari kabel MVTIC dan berfungsi untuk melindunginya dari perubahan cuaca, lingkungan, dan kerusakan mekanis. Selain itu juga meningkatkan ketahanan kabel terhadap api, membuat lebih tahan terhadap panas dan sinar matahari.



Gambar 2. 4 Anatomi Kabel MVTIC [4]

2.2.3 Gangguan Pada Saluran Distribusi

Gangguan adalah keadaan di mana sistem penyaluran tenaga listrik tidak bekerja seperti biasa, yang dapat mengganggu pasokan tenaga listrik ke konsumen. ANSI/IEEE Standard 100-1992 mendefinisikan gangguan sebagai suatu kondisi fisik yang disebabkan oleh kegagalan suatu perangkat, komponen, atau elemen untuk melakukan fungsinya dengan benar. Hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah antara dua titik yang memiliki potensi yang berbeda terjadi secara kebetulan atau disengaja. Hubungan ini dikenal sebagai hubungan singkat [17]. Gangguan dari dalam sistem dan dari luar sistem biasanya terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV. Gangguan dari dalam sistem dapat berasal dari kegagalan peralatan jaringan, kerusakan peralatan jaringan, atau kerusakan peralatan pemutus beban. Gangguan dari luar sistem dapat berasal dari pohon atau ranting yang jatuh pada penghantar, sambaran petir, manusia, atau hewan. Ada dua jenis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi, yaitu:

- a. Dari lama gangguan:
 - Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki).
 - Gangguan temporer (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya)
- b. Dari jenis gangguan:
 - Gangguan satu fasa ke tanah
 - Gangguan dua fasa ke tanah

- Gangguan fasa ke fasa
- Gangguan tiga fasa ke tanah

Ketika ada kesalahan antara bagian yang bertegangan, gangguan hubung singkat terjadi. Ini dapat menyebabkan arus besar yang dapat merusak peralatan listrik di sekitar titik gangguan. Sebagian besar arus gangguan hanya dipengaruhi oleh impedansi gangguan dan impedansi sistem. Impedansi gangguan mencakup impedansi penyebab gangguan, seperti penghantar netral. Di sisi lain, impedansi sistem mencakup penghantar, peralatan switching, dan transformator, yang diukur dari sumber gangguan ke sumber. Betapa besarnya penghalang gangguan dipengaruhi oleh jenis gangguan.

Kegagalan isolasi akibat Partial Discharge merupakan salah satu mekanisme kerusakan isolasi yang paling umum terjadi pada kabel jaringan distribusi tenaga listrik. Partial Discharge (PD) adalah pelepasan muatan listrik lokal yang terjadi pada sebagian kecil area isolasi akibat adanya ketidaksempurnaan material isolasi seperti rongga udara, retakan mikro, kontaminasi, maupun kelembaban. Walaupun energi pelepasan yang dihasilkan relatif kecil, jika terjadi secara terus menerus maka dapat menyebabkan degradasi isolasi secara bertahap hingga akhirnya menimbulkan kegagalan isolasi total. Dalam sistem distribusi tenaga listrik, isolasi kabel memiliki fungsi utama untuk memisahkan bagian konduktor yang bertegangan dengan lingkungan luar maupun dengan konduktor lain. Isolasi dirancang agar mampu menahan tegangan kerja dalam jangka waktu yang lama. Namun pada kondisi nyata, isolasi kabel akan mengalami proses penuaan dan penurunan kualitas akibat pengaruh tegangan listrik, suhu operasi, tekanan mekanis, serta kondisi lingkungan. Kegagalan isolasi akibat Partial Discharge terjadi karena adanya perbedaan kualitas isolasi pada suatu titik tertentu dibandingkan dengan bagian isolasi lainnya. Ketidaksempurnaan ini menyebabkan terbentuknya titik lemah isolasi. Ketika kabel beroperasi pada tegangan kerja normal maupun saat terjadi lonjakan tegangan, titik lemah tersebut akan menjadi lokasi awal terjadinya pelepasan listrik lokal.

Seiring waktu operasi, isolasi kabel juga mengalami proses penuaan alami. Pengaruh suhu operasi yang tinggi dapat menyebabkan perubahan sifat mekanis isolasi menjadi lebih kaku dan rapuh. Kondisi ini membuat isolasi lebih mudah mengalami retakan mikro. Selain itu, masuknya kelembaban atau air ke dalam struktur isolasi juga dapat mempercepat penurunan kualitas isolasi. Kombinasi dari faktor-faktor tersebut meningkatkan kemungkinan terjadinya Partial Discharge.

Kegagalan isolasi akibat Partial Discharge bersifat progresif atau bertahap. Pada tahap awal, Partial Discharge hanya terjadi dalam bentuk pelepasan listrik kecil yang belum menimbulkan gangguan pada sistem. Namun setiap kejadian Partial Discharge akan menghasilkan panas lokal dan reaksi kimia yang dapat merusak struktur molekul isolasi. Kerusakan ini akan memperbesar area cacat isolasi sehingga mempermudah terjadinya pelepasan listrik berikutnya. Jika proses ini berlangsung secara terus menerus, maka akan terbentuk jalur kerusakan permanen di dalam isolasi. Jalur ini lama kelamaan dapat berkembang menjadi jalur konduktif yang menghubungkan konduktor dengan lingkungan luar atau dengan konduktor lain. Pada kondisi ini, isolasi tidak lagi mampu menahan tegangan kerja sehingga terjadi kegagalan isolasi total yang dapat menyebabkan gangguan sistem tenaga listrik seperti hubung singkat atau trip proteksi.

Dalam praktik sistem distribusi tenaga listrik, Partial Discharge sering dijadikan sebagai indikator awal kondisi kesehatan isolasi kabel. Deteksi Partial Discharge sangat penting karena memungkinkan dilakukan tindakan pemeliharaan sebelum terjadi kerusakan total. Dengan melakukan monitoring Partial Discharge secara berkala, umur operasi kabel dapat diperpanjang dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik dapat ditingkatkan.

2.2.4 Pengujian Tegangan Tinggi

Pengujian tegangan tinggi merupakan salah satu metode penting dalam pemeliharaan dan pengujian peralatan sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem distribusi. Pelaksanaan pengujian ini umumnya mengacu pada standar internasional yang ditetapkan oleh IEEE dan IEC yang mengatur prosedur pengujian, batas tegangan uji, serta kriteria kelulusan pengujian. Pengujian

tegangan tinggi dapat dipahami sebagai metode untuk memastikan bahwa isolasi peralatan listrik masih memiliki kemampuan kerja yang baik sebelum peralatan tersebut dioperasikan secara terus menerus dalam sistem tenaga listrik.

Tujuan utama pengujian tegangan tinggi adalah untuk mengetahui kualitas isolasi peralatan listrik secara aktual. Isolasi yang baik harus mampu menahan tegangan kerja dalam waktu operasi yang lama tanpa mengalami kerusakan. Dengan dilakukan pengujian tegangan tinggi, kondisi isolasi dapat diketahui apakah masih sesuai dengan spesifikasi pabrik atau sudah mengalami penurunan kualitas akibat faktor umur, suhu operasi, atau pengaruh lingkungan. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mendeteksi kerusakan isolasi sejak tahap awal. Kerusakan kecil seperti retakan mikro, rongga udara di dalam isolasi, maupun kontaminasi kotoran seringkali tidak dapat dideteksi secara visual, namun dapat diketahui melalui respon isolasi saat diberikan tegangan tinggi.

Pengujian tegangan tinggi juga berperan dalam menjaga keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Jika kondisi isolasi dalam keadaan baik, maka risiko terjadinya gangguan sistem seperti trip jaringan, hubung singkat, maupun kerusakan peralatan dapat diminimalkan. Dari sisi keselamatan operasi, pengujian tegangan tinggi sangat penting untuk mencegah terjadinya kegagalan isolasi saat sistem sedang beroperasi. Kegagalan isolasi saat operasi dapat menyebabkan flashover, percikan listrik, bahkan kerusakan peralatan yang dapat membahayakan peralatan dan keselamatan personel.

Prinsip kerja pengujian tegangan tinggi secara umum dilakukan dengan memberikan tegangan yang nilainya lebih tinggi dari tegangan kerja normal pada peralatan yang diuji. Tegangan tersebut kemudian ditahan dalam waktu tertentu sesuai standar pengujian. Selama proses pengujian berlangsung, parameter yang paling diperhatikan adalah arus bocor dan kestabilannya. Jika selama pengujian tidak terjadi breakdown dan arus bocor berada pada nilai yang stabil, maka isolasi dapat dikatakan masih dalam kondisi baik. Namun jika arus bocor meningkat secara signifikan selama pengujian berlangsung, hal tersebut menunjukkan bahwa isolasi mulai mengalami degradasi. Apabila terjadi breakdown saat

pengujian, maka isolasi dinyatakan gagal dan peralatan tidak layak untuk dioperasikan.

Pada pengujian tegangan tinggi DC, sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan searah. Metode ini banyak digunakan pada pengujian kabel tenaga karena peralatan pengujian lebih sederhana dan mudah digunakan di lapangan. Selain itu, pengujian DC memungkinkan pengukuran arus bocor dilakukan dengan lebih stabil sehingga memudahkan dalam analisis kondisi isolasi kabel. Pengujian DC juga efektif untuk mendeteksi kelemahan isolasi akibat kelembaban, penuaan material, maupun kerusakan mekanis pada kabel.

Mekanisme pengujian DC HV Test pada kabel biasanya dimulai dengan pemberian tegangan DC secara bertahap hingga mencapai tegangan uji yang ditentukan. Pada saat tegangan pertama kali diberikan, arus yang mengalir biasanya relatif besar karena adanya proses pengisian sifat kelistrikan alami kabel. Setelah beberapa waktu, arus tersebut akan menurun dan mencapai kondisi stabil. Pada kondisi isolasi yang baik, arus bocor akan berada pada nilai kecil dan relatif konstan selama waktu pengujian. Namun jika isolasi mengalami kerusakan atau degradasi, arus bocor akan cenderung meningkat seiring waktu pengujian berlangsung. Oleh karena itu, operator pengujian biasanya akan memantau tren arus bocor selama pengujian sebagai indikator kondisi isolasi kabel. Pengujian tegangan tinggi khususnya DC High Voltage Test merupakan metode yang sangat penting dalam evaluasi kondisi isolasi kabel distribusi. Melalui pengujian ini, potensi kerusakan isolasi dapat diketahui sebelum terjadi kegagalan total pada saat operasi sistem. Dengan demikian, pengujian tegangan tinggi menjadi bagian penting dalam program pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

HV-Test adalah metode pengujian dengan memberikan tegangan tinggi pada kabel atau peralatan listrik untuk menguji kekuatan dan kualitas isolasi. Tegangan uji yang diberikan umumnya lebih tinggi dari tegangan kerja normal dengan durasi tertentu sesuai standar yang berlaku [12]. Tujuan utama HV-Test adalah untuk mendeteksi kelemahan isolasi yang tidak dapat terdeteksi melalui inspeksi visual. Dalam jaringan distribusi PLN, pengujian HV-Test digunakan

sebagai metode pengujian utama untuk memastikan keandalan dan keselamatan isolasi kabel tegangan menengah. Pada kabel baru, HV-Test dilakukan sebelum proses energize bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas isolasi kabel dan hasil pemasangan telah memenuhi standar teknis, sehingga kabel aman dioperasikan pada tegangan nominal. Selain itu, HV-Test juga diterapkan pada kabel yang telah mengalami perbaikan atau pemindahan jaringan, guna memastikan tidak terjadi kerusakan isolasi akibat proses penanganan, penyambungan, atau pemasangan ulang. Di sisi lain, HV-Test digunakan sebagai bagian dari evaluasi kondisi isolasi kabel yang telah beroperasi dalam jangka waktu tertentu untuk mendeteksi adanya degradasi isolasi akibat faktor umur, lingkungan, dan kondisi operasional jaringan, sehingga potensi gangguan dapat diidentifikasi lebih dini dan tindakan pemeliharaan yang tepat dapat dilakukan.

Pengujian HV-Test pada jaringan MVTIC di wilayah kerja PLN ULP Weleri bertujuan untuk menilai kelayakan isolasi kabel sebelum dan sesudah kabel dioperasikan. Mengingat jaringan MVTIC di ULP Weleri banyak terpasang pada wilayah dengan kondisi geografis yang beragam, mulai dari pemukiman, area pertanian hingga perbukitan, pengujian ini menjadi penting untuk memastikan bahwa isolasi kabel masih mampu menahan tegangan kerja 20 kV secara aman. HV-Test dilakukan sebagai langkah awal sebelum energize maupun sebagai evaluasi terhadap kabel yang telah beroperasi dalam jangka waktu tertentu.



Gambar 2. 5 Alat HV-Test

Selain itu, HV-Test berfungsi untuk mendeteksi potensi kegagalan isolasi secara dini pada jaringan MVTIC ULP Weleri. Kondisi cuaca ekstrem seperti hujan lebat dan angin kencang yang sering terjadi di wilayah ini dapat mempercepat degradasi isolasi kabel akibat pengaruh kelembapan, gesekan, maupun gangguan dari vegetasi. Dengan adanya pengujian HV-Test, kelemahan isolasi yang tidak terlihat secara visual dapat teridentifikasi lebih awal, sehingga risiko terjadinya gangguan atau kerusakan jaringan dapat diminimalkan. Berdasarkan standar pengujian kabel tegangan menengah PLN, tegangan uji DC untuk kabel 20 kV umumnya ditentukan dengan persamaan:

$$V_{uji} = k \times V_{nom} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

- V_{uji} = Tegangan uji (kV)
- V_{nom} = Tegangan nominal kabel (kV)
- k = Faktor pengujian (biasanya 2 – 3 kali tegangan nominal)

Untuk kabel MVTIC 20 kV, maka:

$$V_{uji} = 3 \times 20 = 60 \text{ kV DC} \dots \dots \dots (2.2)$$

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dilakukan penentuan tindak lanjut terhadap kondisi kabel MVTIC. Kabel yang masih memenuhi persyaratan isolasi dapat tetap dioperasikan dengan pemantauan rutin, sedangkan kabel yang menunjukkan indikasi penurunan kualitas isolasi dapat direkomendasikan untuk dilakukan perbaikan atau penggantian.

Prosedur Pengujian HV-Test pada jaringan MVTIC dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Memastikan jaringan dalam kondisi tidak bertegangan (padam dan terisolasi) serta telah memenuhi prosedur keselamatan kerja.
2. Melepaskan kabel MVTIC dari sumber tegangan dan peralatan yang terhubung.
3. Menghubungkan peralatan HV-Test ke kabel yang akan diuji sesuai dengan standar pengujian.

4. Memberikan tegangan uji secara bertahap hingga mencapai nilai tegangan yang ditentukan.
5. Mempertahankan tegangan uji selama waktu tertentu sesuai prosedur.
6. Mengamati respon isolasi kabel, seperti arus bocor atau indikasi kegagalan isolasi.
7. Mencatat hasil pengujian sebagai data penelitian.



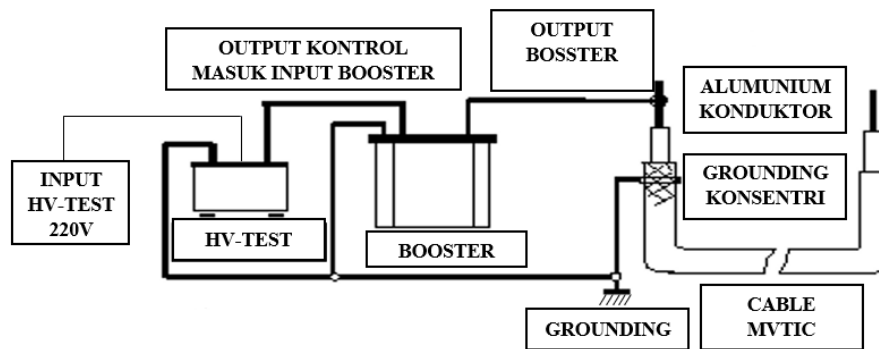
BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan kondisi jaringan MVTIC di wilayah kerja PLN ULP Weleri. Hasil pengujian HV-Test di lapangan digunakan sebagai gambaran tentang kondisi isolasi kabel. Dengan pendekatan ini, penelitian tidak berfokus pada pengujian hipotesis, melainkan pada pemaparan dan analisis kondisi jaringan sebagaimana adanya. Pendekatan kuantitatif diterapkan melalui pengolahan dan analisis data hasil pengujian HV-Test, seperti nilai tegangan uji dan respon isolasi kabel terhadap tegangan tinggi yang diberikan. Data pengukuran tersebut dianalisis secara sistematis untuk mengetahui tingkat kelayakan isolasi kabel MVTIC. Hasil analisis kuantitatif ini digunakan untuk mendukung penilaian teknis terhadap kondisi jaringan distribusi, sehingga kesimpulan yang diperoleh didasarkan pada data yang terukur dan objektif. Data yang diperoleh dari metode studi kasus PLN UP3 Weleri akan didukung oleh data tambahan yang diperoleh dari buku referensi dan literatur yang digunakan oleh penulis.

3.1 Model Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara langsung di lapangan untuk mengetahui gangguan jaringan MVTIC dengan menggunakan alat HV TEST yang digunakan sesuai SOP, pengujian ini diawali dengan memasukkan arus tegangan Listrik DC dari alat pengukur ke jaringan MVTIC untuk menentukan arus bocor pada jaringan MVTIC, nilai arus bocor dan tegangan yang bervariasi, Untuk pengujian arus bocor ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Model Pengujian HV-Test

3.2 Alat dan Bahan

Untuk memungkinkan proses pengumpulan data berhasil, penulis menggunakan alat dan bahan pendukung berikut sebagai sarana utama dalam pengamatan:

1. Alat Tulis

Alat tulis adalah perangkat yang digunakan untuk mencatat semua catatan yang dianggap penting di lapangan, seperti pULPen, pensil, penghapus, dan alat tulis lainnya.

2. Laptop

Data yang diperoleh, termasuk data dari internet seperti perhitungan perhitungan dan data dari ULP Weleri, diolah dan disimpan menggunakan laptop dan komputer.

3. Kamera

Kamera berfungsi sebagai alat untuk mengambil gambar secara langsung keadaan di lapangan.

4. Hv-test

Alat untuk mengukur kabel isolasi berpilin (twisted) pada tegangan menengah.

5. Booster

Perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah arus dc ke ac sebagai penghubung antara jaringan MVTIC ke HV-Test.

3.3 Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder yang saling melengkapi untuk mendukung analisis kondisi jaringan MVTIC di wilayah kerja PLN ULP Weleri. Tujuan dari kedua jenis data ini adalah untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang kondisi isolasi kabel berdasarkan hasil pengujian HV-Test dan faktor pendukung lainnya yang memengaruhi kinerja jaringan distribusi. Data primer merupakan data utama yang diperoleh secara langsung dari hasil pengujian HV-Test pada kabel MVTIC di lapangan. Data ini diambil dari kegiatan pengujian yang dilakukan oleh petugas PLN sesuai dengan prosedur operasional yang berlaku. Data primer sangat akurat dan relevan dengan tujuan penelitian karena menunjukkan kondisi isolasi kabel yang sebenarnya selama pengujian.

Hasil pengujian HV-Test yang termasuk dalam data primer meliputi nilai tegangan uji, durasi pengujian, serta respon isolasi kabel terhadap tegangan tinggi yang diberikan. Data ini digunakan untuk menilai apakah kabel MVTIC masih memenuhi standar kelayakan operasi atau menunjukkan indikasi penurunan kualitas isolasi. Oleh karena itu, data primer berfungsi sebagai dasar untuk analisis teknis penelitian ini. Penelitian ini menggunakan data sekunder sebagai data pendukung selain data primer. Data sekunder berasal dari dokumen pemeliharaan jaringan distribusi PLN ULP Weleri, seperti riwayat pemeliharaan, laporan inspeksi jaringan, dan catatan gangguan. Data ini berfungsi untuk memberikan konteks tambahan terhadap kondisi jaringan dan membantu dalam interpretasi hasil pengujian HV-Test. Data sekunder lainnya meliputi spesifikasi teknis kabel MVTIC, standar pengujian yang berlaku, serta referensi terkait sistem distribusi tenaga listrik PLN. Informasi ini digunakan sebagai acuan dalam membandingkan hasil pengujian dengan standar yang ditetapkan, sehingga kesimpulan yang dihasilkan memiliki dasar teknis dan akademik yang kuat.

Tabel 3. 1 Data Jaringan MVTIC PLN ULP Weleri

No	Lokasi Jaringan	Jenis Kabel	Tegangan Kerja (kV)	Panjang Jaringan (m)	Tahun Operasi	Hasil HV-Test	Keterangan
1	Sumber Agung	MVTIC	20	350	2021	Lulus	Isolasi baik
2	Ringin narum	MVTIC	20	420	2020	Lulus	Tidak ada arus bocor
3	Traju	MVTIC	20	280	2020	Perlu Evaluasi	Isolasi menurun
4	Kemiri	MVTIC	20	390	2019	Lulus	Layak operasi
5	Kedung asri	MVTIC	20	310	2019	Tidak Lulus	Direkomendasikan perbaikan

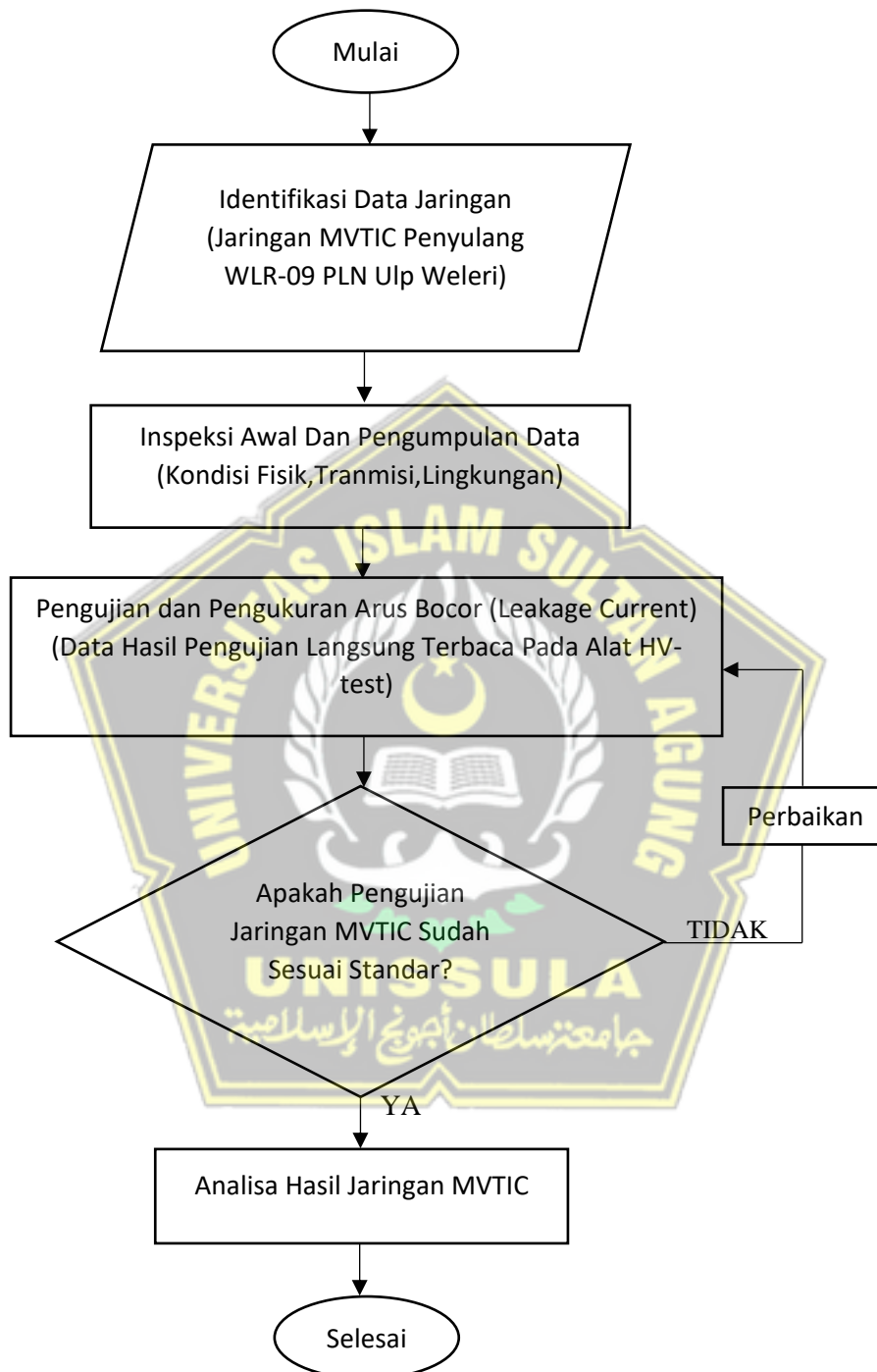
3.4 Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian HV-Test dianalisis menggunakan metode deskriptif dengan tujuan untuk menggambarkan kondisi isolasi kabel MVTIC berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh di lapangan. Analisis dilakukan dengan mengamati nilai tegangan uji yang diberikan serta respon isolasi kabel selama proses pengujian berlangsung. Respon tersebut meliputi kemampuan isolasi kabel dalam menahan tegangan tinggi tanpa menunjukkan indikasi kegagalan, seperti munculnya arus bocor yang berlebihan atau penurunan nilai tahanan isolasi. Hasil pengujian HV-Test dibandingkan dengan standar kelayakan yang berlaku di PLN maupun standar teknis terkait pengujian kabel tegangan menengah. Perbandingan ini bertujuan untuk menentukan apakah hasil pengujian masih berada dalam batas aman yang diperkenankan. Apabila nilai tegangan uji dan respon isolasi memenuhi standar, maka kabel MVTIC dinyatakan layak untuk tetap dioperasikan. Sebaliknya, apabila hasil pengujian menunjukkan penyimpangan dari standar, kabel tersebut memerlukan evaluasi lebih lanjut.

Penentuan tindak lanjut ini menjadi bagian penting dalam mendukung kegiatan pemeliharaan preventif jaringan distribusi di PLN ULP Weleri. Untuk mempermudah pemahaman kondisi jaringan MVTIC, hasil analisis data kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan uraian naratif. Penyajian data secara sistematis diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai hasil pengujian HV-Test serta membantu dalam menarik kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Dengan demikian, analisis data ini dapat menjadi dasar dalam mengevaluasi keandalan jaringan MVTIC di wilayah kerja PLN ULP Weleri.



3.5 Flowchart



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada jaringan *Medium Voltage Twisted Insulated Cable* (MVTIC) di wilayah kerja PLN ULP Weleri. Jaringan ini menggunakan konduktor aluminium dengan isolasi XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*) yang dirancang untuk meminimalisir gangguan akibat sentuhan benda asing. Berdasarkan pengamatan lapangan, struktur MVTIC terdiri dari beberapa lapisan pelindung. Meskipun memiliki proteksi mekanis yang kuat, kabel ini tetap terpapar kondisi lingkungan ekstrem (panas dan hujan) yang dapat memicu degradasi material isolasi seiring bertambahnya usia pakai.

4.1 Analisis Kerusakan dan Masalah pada Kabel MVTIC ULP Weleri

Sebelum dilakukan pengujian elektrikal (HV-Test), dilakukan inspeksi visual pada penyulang (*feeder*) sampel di PLN ULP Weleri untuk mengidentifikasi masalah fisik pada kabel. Tahap ini krusial untuk memetakan kondisi fisik luar kabel yang berpotensi memengaruhi nilai isolasi di dalam.

Meskipun memiliki keunggulan dalam hal keamanan fisik, jaringan MVTIC di lokasi penelitian tetap menjadi objek yang rentan terhadap degradasi material akibat faktor lingkungan dan operasional yang ekstrem. Di wilayah Weleri, paparan panas matahari yang terus-menerus dapat memicu *thermal stress* pada molekul XLPE, sementara kelembapan tinggi dan kontaminasi polutan di area sekitar pantai dapat mempercepat timbulnya arus bocor permukaan pada titik-titik terminasi. Selain itu, adanya kerusakan mekanis pada lapisan PVC akibat gesekan eksternal sering kali menjadi jalan masuk bagi air (*water ingress*), yang kemudian memicu terbentuknya *water treeing* di dalam isolasi. MVTIC dianalisis melalui parameter elektrikal dengan menggunakan metode *High Voltage Test* (HV-Test) sebagai instrumen diagnostik utama. Pengujian dilakukan pada penyulang (*feeder*) tertentu di ULP Weleri yang memiliki rekam jejak gangguan tinggi untuk mengukur integritas lapisan dielektriknya. Dengan memberikan injeksi tegangan DC hingga mencapai

level tegangan uji tertentu, arus bocor yang mengalir pada kabel dapat diukur secara presisi guna menentukan nilai tahanan isolasi (R_i). Gambaran umum yang diperoleh dari pengujian ini memungkinkan dilakukannya klasifikasi status kesehatan kabel, sehingga manajemen PLN ULP Weleri dapat mengambil keputusan strategis terkait penggantian atau perbaikan komponen jaringan sebelum terjadi pemadaman listrik yang luas.

Tabel 4. 1 Analisis Kerusakan Pada Kabel MVTIC

No.	Titik Lokasi / Pole	Kondisi Fisik Temuan	Klasifikasi Masalah	Potensi Dampak pada Hasil HV-Test
1	Feeder Weleri-09	Outer Jacket (PVC) lecet akibat gesekan dahan pohon.	Kerusakan Mekanis	Penurunan nilai tahanan isolasi akibat infiltrasi air hujan.
2	Gardu WL-09	Terminasi kabel terlihat berdebu (polutan) dan lembap.	Kontaminasi Permukaan	Munculnya tracking atau arus bocor pada permukaan terminasi.
3	Percabangan WL-09	Messenger wire (penggantung) mengalami korosi/karat.	Penurunan Kekuatan Struktur	Risiko kabel putus atau kendur yang merusak lapisan isolasi XLPE.
4	Feeder Weleri-09	Ditemukan pembengkakan (swelling) pada badan kabel.	Thermal Stress	Kerusakan struktur molekul XLPE akibat beban berlebih.

4.2 Pengujian Jaringan MVTIC Menggunakan HV-Test

HV-Test (High Voltage Test) merupakan salah satu teknik pengujian tegangan tinggi yang digunakan untuk menilai kondisi isolasi kabel tegangan menengah, terutama pada jaringan MVTIC. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan

tegangan uji yang lebih tinggi dibandingkan tegangan operasi normal kabel untuk mengetahui kemampuan isolasi dalam menahan tegangan listrik. Melalui pengujian ini, dapat dideteksi adanya arus bocor (leakage current), degradasi isolasi, serta potensi kegagalan isolasi yang dapat menyebabkan gangguan sistem distribusi.

Secara prinsip, isolasi kabel yang masih dalam kondisi baik akan memiliki nilai arus bocor yang kecil dan relatif stabil saat diberikan tegangan uji. Sebaliknya, jika isolasi telah mengalami penuaan (aging), kerusakan mekanis, atau kontaminasi akibat lingkungan, maka nilai arus bocor akan meningkat. Oleh karena itu, HV-Test digunakan sebagai metode diagnostic dan preventive maintenance untuk mencegah terjadinya gangguan sebelum kabel mengalami kegagalan total.

Tahapan maintenance jaringan MVTIC menggunakan HV-Test di ULP Weleri meliputi beberapa tahap sebagai berikut.

4.2.1 Persiapan Pengujian

Tahap persiapan merupakan tahap awal yang sangat penting untuk menjamin keselamatan kerja dan keakuratan hasil pengujian. Tahapan persiapan meliputi:

1. Pemadaman Jaringan (Outage)

Pemadaman dilakukan pada penyulang yang akan diuji untuk memastikan tidak ada tegangan yang masih terhubung ke kabel. Pemadaman ini dilakukan sesuai prosedur operasi standar (SOP) PLN untuk menghindari risiko kecelakaan kerja dan kerusakan peralatan.

2. Pengamanan Area Kerja (K3)

Pemasangan rambu keselamatan, pembatas area, dan penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti helm, sarung tangan isolasi, sepatu perlindungan, dan alat grounding memastikan bahwa area kerja aman. Untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja, tindakan ini dilakukan sesuai dengan standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

3. Pemeriksaan Visual (Visual Inspection)

Pemeriksaan visual dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi fisik kabel, sambungan (joint), terminasi, dan aksesoris kabel. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendeteksi adanya kerusakan fisik seperti retak isolasi, korosi, atau deformasi mekanis yang dapat mempengaruhi hasil pengujian HV-Test.

4.2.2 Tahap Pelaksanaan HV-Test

Tahap pelaksanaan merupakan tahap utama dalam metode HV-Test, di mana kabel diuji dengan tegangan tinggi sesuai standar pengujian kabel tegangan menengah. Tahapan pelaksanaan meliputi:

1. Penyambungan Peralatan HV-Test

Alat HV-Test dihubungkan ke konduktor kabel MVTIC yang akan diuji. Sambungan dilakukan pada masing-masing fasa (R, S, dan T) dengan sistem pengujian satu fasa terhadap tanah (ground). Grounding dipasang untuk memastikan keselamatan dan kestabilan pengukuran.

2. Pemberian Tegangan Uji Secara Bertahap

Tegangan uji dinaikkan secara bertahap dari nilai rendah hingga mencapai nilai tegangan uji maksimum sesuai standar, umumnya sebesar 1,5 hingga 2 kali tegangan nominal (20 kV). Kenaikan tegangan dilakukan secara bertahap untuk menghindari lonjakan tegangan yang dapat merusak isolasi kabel secara tiba-tiba.

3. Pengukuran Arus Bocor (Leakage Current Measurement)

Selama pengujian, arus bocor diukur dan dicatat menggunakan peralatan pengukuran yang terintegrasi pada alat HV-Test. Nilai arus bocor yang diperoleh digunakan sebagai indikator kondisi isolasi kabel. Semakin besar nilai arus bocor, maka semakin rendah kualitas isolasi kabel tersebut.

Metode maintenance menggunakan HV-Test ini mampu meningkatkan keandalan jaringan distribusi MVTIC di ULP Weleri dengan mendeteksi potensi gangguan secara dini, sehingga dapat dilakukan tindakan pemeliharaan yang tepat sebelum terjadi kegagalan sistem distribusi.

4.2.3 Hasil Dan Analisis Pengujian HV-Test

Pengujian HV-Test dilakukan pada beberapa segmen jaringan MVTIC di wilayah kerja ULP Weleri dengan tujuan untuk mengetahui kondisi isolasi kabel distribusi tegangan menengah. Parameter utama yang diamati dalam pengujian ini adalah **tegangan uji (kV)** dan **arus bocor (mA)** pada masing-masing fasa kabel, yaitu fasa R, S, dan T. Nilai arus bocor digunakan sebagai indikator kualitas isolasi

kabel, di mana semakin besar nilai arus bocor menunjukkan semakin menurunnya kualitas isolasi.

Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan uji sebesar 30 kV, yang merupakan sekitar 1,5 kali tegangan nominal sistem (20 kV). Tegangan dinaikkan secara bertahap hingga mencapai nilai uji maksimum. Pengujian dilakukan secara berkala biasanya dilakukan 1-3 kali pengujian, Berikut hasil pengujian pertama:

Tabel 4. 2 hasil pengukuran sebelum dilakukan perbaikan

NO	FASE	LEAKAGE CURRENT (mA)	OUTPUT VOLTAGE (kV)	JARAK TIANG	KETERANGAN
1	R	5.13	22.08 kV	W9.71-84	FAILED
	S	5.70	23.14 kV		FAILED
	T	6.61	23.02 kV		FAILED
2	R	45.78	0.37 kV	W9.84-124	FAILED
	S	5.2	21.09 kV		FAILED
	T	4.17	22.07 kV		FAILED
3	R	2.18	22.02 kV	W9.124-144	FAILED
	S	0.3	24.02 kV		PASSED
	T	5.4	22.08 kV		FAILED
4	R	4.56	8.48 kV	W9.144.184	FAILED
	S	1.6	22.09 kV		FAILED
	T	0.5	24.04 kV		PASSED

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa penyulang WLR-09 menunjukkan karakteristik nilai arus bocor yang berbeda-beda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh kondisi fisik kabel, umur pemakaian, kualitas sambungan, serta faktor lingkungan di sekitar jaringan. Penyulang WLR-09 menunjukkan nilai arus bocor yang cukup tinggi, yaitu di atas 0.7 mA sesuai standar IEEE dan IEC pada setiap fasa maka dikatakan failed. Nilai ini mengindikasikan bahwa isolasi kabel telah mengalami degradasi yang cukup signifikan dan berpotensi menyebabkan kegagalan isolasi. Tingginya arus bocor dapat disebabkan oleh faktor penuaan isolasi akibat umur kabel yang sudah lama, kerusakan mekanis pada selubung kabel, atau adanya kontaminasi berat pada permukaan isolasi. Berdasarkan hasil ini, penyulang WLR-09 direkomendasikan untuk dilakukan tindakan pemeliharaan lanjutan, seperti pengujian diagnostik tambahan, perbaikan sambungan (joint), atau penggantian

segmen kabel yang bermasalah ada beberapa tahapan untuk melakukan maintenace jaringan MVTIC.

Tahap pertama dalam perbaikan jaringan MVTIC adalah proses identifikasi gangguan atau kerusakan. Pada tahap ini dilakukan analisis awal berdasarkan laporan gangguan, hasil inspeksi lapangan, atau hasil pengujian seperti nilai tahanan isolasi yang menurun dan munculnya arus bocor. Teknisi akan menentukan lokasi titik gangguan dengan metode penelusuran jalur kabel, pengamatan visual, serta jika diperlukan menggunakan alat bantu seperti fault locator.

Tahap kedua adalah persiapan pekerjaan perbaikan. Pada tahap ini dilakukan pengamanan sistem dengan cara melakukan manuver jaringan, pemadaman pada section tertentu, Selain itu dilakukan persiapan alat kerja seperti alat jointing kabel, alat ukur tahanan isolasi, alat ukur arus bocor, serta perlengkapan keselamatan kerja seperti APD lengkap.

Tahap ketiga adalah proses pembongkaran bagian jaringan yang mengalami kerusakan. Pada jaringan MVTIC, kerusakan yang sering terjadi biasanya berupa outer jacket kabel yang terkelupas, isolasi mengalami retak, atau kerusakan pada joint dan terminasi. Pada tahap ini teknisi akan membuka bagian kabel yang rusak dengan teknik pengupasan isolasi sesuai standar agar tidak merusak lapisan konduktor di dalamnya. Jika kerusakan berada pada sambungan, maka joint lama akan dilepas dan dilakukan pembersihan area konduktor sebelum pemasangan joint baru.

Tahap keempat adalah proses perbaikan atau penggantian komponen. Jika kerusakan bersifat ringan seperti lecet pada outer jacket, maka dapat dilakukan perbaikan dengan metode wrapping isolasi khusus tegangan menengah. Namun jika kerusakan sudah mencapai lapisan isolasi utama atau konduktor, maka bagian kabel harus dipotong dan dilakukan penyambungan menggunakan joint tegangan menengah. Proses jointing harus dilakukan secara presisi, mulai dari pembersihan konduktor, pemasangan konektor mekanis atau compression connector, pemasangan isolasi utama, hingga pemasangan pelindung mekanis luar. Kesalahan kecil pada tahap ini dapat menyebabkan munculnya partial discharge dan mempercepat kegagalan isolasi.

Tahap kelima adalah pengujian hasil perbaikan. Setelah pekerjaan mekanis selesai, dilakukan pengujian elektrikal seperti pengukuran tahanan isolasi menggunakan Hv-Test serta pengukuran arus bocor. Tujuan pengujian ini adalah memastikan bahwa bagian yang diperbaiki sudah memenuhi standar kelayakan operasi. Jika nilai pengujian masih tidak sesuai standar, maka harus dilakukan evaluasi ulang sebelum jaringan dinormalisasi.

Tahap keenam adalah proses normalisasi sistem. Setelah hasil pengujian dinyatakan baik, dilakukan penutupan kembali sistem proteksi, dan penyalaan kembali jaringan secara bertahap. Pada tahap ini biasanya dilakukan monitoring arus beban dan temperatur sambungan untuk memastikan tidak ada anomali setelah perbaikan.

Tahap terakhir adalah dokumentasi dan evaluasi pekerjaan. Semua hasil pekerjaan harus dicatat dalam laporan teknis yang berisi lokasi kerusakan, jenis kerusakan, metode perbaikan, hasil pengujian sebelum dan sesudah perbaikan, serta rekomendasi tindak lanjut. Dokumentasi ini penting sebagai database histori kondisi jaringan dan sebagai bahan evaluasi untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi di masa depan.

Secara keseluruhan, perbaikan jaringan MVTIC tidak hanya sekadar memperbaiki kerusakan fisik, tetapi juga memastikan keandalan sistem distribusi tenaga listrik tetap terjaga. Oleh karena itu, setiap tahapan pekerjaan harus dilakukan sesuai prosedur teknis, standar keselamatan kerja, serta standar operasi sistem distribusi tegangan menengah. Setelah dilakukan tindakan perbaikan atau penggantian segmen kabel lalu dilakukan pengukuran selanjutnya untuk mengetahui arus bocor, Dengan dilakukan pengujian yang kedua ini untuk melihat kelayakan kabel.

Tabel 4. 3 hasil pengukuran setelah dilakukan perbaikan dan penggantian segmen kebel.

NO	FASE	LEAKAGE CURRENT (mA)	OUTPUT VOLTAGE (kV)	JARAK TIANG	KETERANGAN
1	R	0.5	24.04 kV	W9.71-84	PASSED
	S	0.1	24.04 kV		PASSED
	T	0.7	24.02 kV		PASSED
2	R	0.3	24.04 kV	W9.84-124	PASSED
	S	0.5	24.02 kV		PASSED
	T	0.6	24.04 kV		PASSED
3	R	0.7	24.02 kV	W9.124-144	PASSED
	S	0.3	24.02 kV		PASSED
	T	0.4	24.04 kV		PASSED
4	R	0.3	24.02 kV	W9.144.184	PASSED
	S	0.2	24.04 kV		PASSED
	T	0.5	24.04 kV		PASSED

Berdasarkan tabel diatas Penyulang WLR-09 menunjukkan nilai arus bocor yang relatif kecil pada ketiga fasa, yaitu berkisar antara 0.1 mA hingga 0.7 mA. Nilai arus bocor yang rendah dan relatif seimbang antar fasa menunjukkan bahwa kondisi isolasi kabel masih homogen dan tidak terdapat indikasi kerusakan lokal pada salah satu fasa. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kabel pada penyulang WLR-09 masih layak dioperasikan dan belum memerlukan tindakan perbaikan khusus, sehingga cukup dilakukan pemeliharaan rutin sesuai jadwal.

4.3 Pengaruh Hasil Analisis HV-Test Terhadap Maintenance Jaringan MVTIC ULP Weleri

Berdasarkan hasil pengujian High Voltage Test (HV-Test) yang dilakukan pada jaringan Medium Voltage Twisted Insulated Cable (MVTIC) di wilayah kerja PLN ULP Weleri, diperoleh gambaran nyata mengenai kondisi aktual isolasi kabel serta implikasinya terhadap strategi maintenance jaringan distribusi tegangan menengah. Pengujian dilakukan dengan pemberian tegangan DC sebesar 20 kV pada masing-masing fasa terhadap tanah, disertai pemantauan arus bocor hingga mencapai kondisi stabil. Sehingga secara teknis mengindikasikan bahwa lapisan isolasi XLPE pada fasa R,S dan T masih berada dalam kondisi baik dan tidak menunjukkan

adanya cacat internal seperti void atau water treeing. Oleh karena itu, tindakan maintenance pada ketiga fasa tersebut dapat difokuskan pada pemeliharaan preventif, berupa inspeksi visual berkala, pengendalian vegetasi, serta pemantauan kondisi terminasi dan aksesoris kabel guna mempertahankan keandalan sistem.

Dengan demikian, hasil analisis HV-Test secara langsung memengaruhi arah dan prioritas maintenance jaringan MVTIC di ULP Weleri, di mana fasa dengan kondisi isolasi baik, cukup dilakukan maintenance preventif berupa pengujian tahanan isolasi kabel dan pemeriksaan visual kondisi kabel dan sambungan sementara fasa yang menunjukkan anomali memerlukan maintenance korektif berupa inspeksi lanjutan seperti pembersihan atau penggantian terminasi serta kemungkinan penggantian segmen kabel. Penerapan HV-Test sebagai metode diagnostik ini memungkinkan PLN ULP Weleri menerapkan strategi maintenance berbasis kondisi (condition based maintenance), sehingga potensi gangguan dan pemadaman dapat diminimalkan, keandalan jaringan meningkat, serta biaya pemeliharaan dapat dioptimalkan.

Tanpa adanya maintenance berbasis pengujian HV-Test, kebocoran arus dalam skala kecil seperti ini tidak akan terdeteksi pada tahap awal dan berpotensi berkembang menjadi tembus listrik (breakdown) pada isolasi XLPE, yang dapat menyebabkan gangguan besar hingga pemadaman total (blackout) pada penyulang. Selain aspek teknis, perawatan rutin MVTIC juga memberikan keuntungan dari sisi ekonomi, karena biaya pemeliharaan preventif dan korektif ringan jauh lebih rendah dibandingkan biaya penggantian satu gawang kabel MVTIC yang mengalami kerusakan total akibat hubung singkat. Lebih lanjut, pelaksanaan maintenance yang terencana dan berbasis kondisi melalui HV-Test berkontribusi langsung terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi, khususnya dalam menekan nilai SAIDI dan SAIFI di wilayah kerja ULP Weleri, sehingga kinerja jaringan tetap selaras dengan target indikator kinerja utama (Key Performance Indicator/KPI) PT PLN (Persero).

Gangguan yang ditemukan pada objek penelitian dikategorikan sebagai incipient fault atau gangguan yang baru akan terjadi. Penurunan nilai tahanan isolasi pada Feeder A menunjukkan bahwa lapisan XLPE telah mengalami penuaan dini.

Penggunaan metode HV-Test dalam tugas akhir ini terbukti efektif sebagai alat diagnosis untuk menentukan sisa umur teknis kabel. Data menunjukkan bahwa inspeksi visual saja tidak cukup diperlukan pengujian elektrikal untuk mengetahui kondisi di dalam lapisan isolasi yang tidak kasat mata.



BAB V

PENTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisis perawatan jaringan MVTIC menggunakan metode HV-Test di PLN ULP Weleri menghasilkan beberapa kesimpulan penting sebagai berikut:

1. Kondisi Teknis Jaringan Secara keseluruhan, mayoritas jaringan di ULP Weleri (diwakili Fasa R dan S) masih berada dalam kategori Sangat Baik ($> 0.7 \text{ mA}$). Namun, adanya satu fasa yang masuk kategori Waspada membuktikan bahwa masalah pada kabel MVTIC bersifat spesifik dan memerlukan penanganan *condition-based maintenance* yang akurat.
2. Pengujian HV-Test terbukti sangat efektif sebagai instrumen diagnostik untuk mengetahui kondisi internal isolasi yang tidak terlihat secara visual. Hal ini dibuktikan dengan temuan pada Fasa R yang memiliki nilai tahanan isolasi kritis sebesar 45.78 mA .
3. Pemeliharaan pada jaringan MVTIC mutlak diperlukan meskipun kabel memiliki isolasi penuh. Hal ini dikarenakan faktor lingkungan (panas, kelembapan, dan gesekan vegetasi) menyebabkan degradasi material XLPE. Tanpa *maintenance* rutin, kebocoran arus kecil tidak akan terdeteksi dan dapat berkembang menjadi kegagalan isolasi total (*breakdown*) yang merugikan secara teknis.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi di PLN ULP Weleri, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Disarankan agar pengujian HV-Test dilakukan secara berkala (minimal 1 tahun sekali) pada penyulang yang memiliki rekam jejak gangguan tinggi, guna mendeteksi *incipient fault* sejak dini.
2. Segera dilakukan pembersihan pada bagian terminasi dan pengecekan ulang sambungan.

3. PLN ULP Weleri sebaiknya melakukan digitalisasi histori data hasil HV-Test untuk mempermudah pemantauan laju degradasi isolasi kabel dari tahun ke tahun.
4. Mengingat lecetnya outer jacket menjadi pintu masuk kelembapan, koordinasi rutin untuk perabasan pohon (Right of Way) harus tetap menjadi prioritas guna mencegah kerusakan mekanis pada kabel MVTIC.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. dan A. A. Syukri, "Analisa Perhitungan Susut Teknis di PT. PLN (Persero) Rayon Singkil," *Fak. Tek. Univ. Iskandar Muda*, no. 15, 2022, doi: 10.26623/elektrika.v16i1.8854.
- [2] E. Gord, R. Dashti, M. Najafi, and H. R. Shaker, "Real fault section estimation in electrical distribution networks based on the fault frequency component analysis," *Energies*, vol. 12, no. 6, 2019, doi: 10.3390/en12061145.
- [3] Ahmad Fajar Sayidul Yoam, "Analisis keandalan sistem distribusi tenaga listrik di p.t. pln upj rayon bumiayu," *Univ. Muhammadiyah Yogyakarta*, p. 18, 2015, [Online]. Available: <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/4581>
- [4] Fika Arlida Rista, "SALURAN KABEL UDARA TEGANGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG KPK 01 SEMARANG," *repository.unissula.ac.id*, p. 67, 2023.
- [5] S. L. R. dan M. F. Ramadhan, "Analisis teknis dan ekonomis pemeliharaan peralatan saluran udara tegangan menengah (SUTM) PT.PLN (PERSERO) up3 makassar utara," *Digit. Libr. Univ. Muhammadiyah Makassar*, p. 90, 2023.
- [6] A. H. Aria Maigawa Siregar, Badriana, Habib Muharry Yusdartono, "PERBAIKAN NILAI SUSUT TEKNIS JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA FEEDER K . H . 05," *J. Energi Elektr.*, vol. 12, pp. 24–30, 2023.
- [7] A. D. S. Karel Octavianus Bachri, Edoardo Jonathan, "ANALISIS GANGGUAN PADA SISTEM GARDU LISTRIK BERBASIS GAS INSULATED SWITCHGEAR 150 kV DENGAN METODE HIGH," *Cylind. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. April, p. 6, 2023.
- [8] M. S. Syaini Anjani, "Pemeriksaan Dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah Di PT . PLN (PERSERO) ULP Medan Sunggal Pada Penyulang PL-06 Network Inspection And Maintenance Medium Voltage Air Line Distribution At," *J. ilmiah Tenaga List.*, pp. 26–32, 2024.
- [9] K. D. Widiartawan, "analisis gangguan pada saluran udara tegangan menengah penyulang batur sari," *Politek. Negri Bali*, p. 20, 2023, [Online]. Available: <https://repository.pnb.ac.id/id/eprint/10406>
- [10] H. Zikra Rufina, I Wayan Ratnata, "ANALISIS TEGANGAN TEMBUS KABEL INSTALASI LISTRIK," *ejournal.upi.edu*, vol. 13, no. 1, pp. 89–98, 2014, [Online]. Available: <http://jurnal.upi.edu/electrans>

- [11] L. Nabila Meitri Mugandi, "Maintenance Of 20 kV SUTM Distribution Network System (Rose Feeder) at PT . PLN ULP Kampar Pemeliharaan Jaringan Distribusi SUTM 20 kV (Penyulang Mawar)," *J. irpi*, vol. 2, no. December, pp. 85–95, 2022, doi: <https://doi.org/10.57152/ijeere.v2i2.448>.
- [12] M. H. A. Nurmiati Pasra, Andi Makkulau, "GANGGUAN YANG TERJADI PADA SISTEM JOINTING PADA SALURAN KABEL TEGANGAN MENENGAH 20 KV," *Media Neliti*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [13] C. N. dan Budiman, "Studi Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Titik Gangguan Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV," *J. Tek. Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 140–148, 2022, doi: <https://doi.org/10.56248/marostek.v1i1.25>.
- [14] A. Salim, A. R. Sultan, and A. Akmal, "Analisis Perbandingan Sistem Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (Skutm) Dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (Sktm)," *Repos. poliupg*, pp. 195–212, 2024, [Online]. Available: <https://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/10080>
- [15] A. J. P. Syah, "Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah untuk Analisa Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik unit Layanan Pelanggan (ULP) daya," *Repos. unhas*, p. 57, 2023, [Online]. Available: <http://repository.unhas.ac.id:443/id/eprint/31112>
- [16] S. Suripto, "Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik," *Univ. Muhammadiyah Yogyakarta*, pp. 1–59, 2016.
- [17] Ajiatmo, R. D., and M. Ali, "Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik," *J. Penelit. Ilmu Tek. dan Terap.*, vol. 10, no. 1, pp. 35–41, 2019.

