TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS PROSEDUR PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PADA PENGGANTIAN ISOLATOR POST AKIBAT TEGANGAN LEBIH PETIR DIJARINGAN 20KV PENYULANG RORO

DISUSUN OLEH :

[EKO SUMEDI]

NIM : [202371600]

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2025

EFEKTIVITAS PROSEDUR PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PADA PENGGANTIAN ISOLATOR POST AKIBAT TEGANGAN LEBIH PETIR DIJARINGAN 20KV PENYULANG RORO

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

DISUSUN OLEH :

EKO SUMEDI
NIM : 202371600

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2025

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama mahasiswa	:	Eko Sumedi
NIM	:	202371600
Program studi	:	D- III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah *)	:	Vokasi
Judul tugas akhir	:	Efektivitas Prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Pada Penggantian Isolator Post Akibat Tegangan Lebih Petir Dijaringan 20Kv Penyulang Roro

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia bertanggung jawab segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 27 Februari 2026

Eko Sumedi

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir	:	EFEKTIVITAS PROSEDUR PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PADA PENGGANTIAN ISOLATOR POST AKIBAT TEGANGAN LEBIH PETIR DIJARINGAN 20KV PENYULANG RORO
Nama Mahasiswa	:	Eko Sumedi
NIM	:	202371600
Program Studi	:	D-III Teknologi Listrik
Fakultas	:	Sekolah Vokasi

Disetujui Oleh

Pembimbing I

Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.

NIDN : 0415098807

Diketahui oleh,

Kepala Program Studi

Ir. Sandi Budi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.

NIDN : 0309089002

Dekan/Direktur

Tony Koerniawan, S.T., M.T.

NIDN : 0325018402

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Judul Tugas Akhir	:	EFEKTIVITAS PROSEDUR PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PADA PENGGANTIAN ISOLATOR POST AKIBAT TEGANGAN LEBIH PETIR DIJARINGAN 20KV PENYULANG RORO
Nama Mahasiswa	:	Eko Sumedi
NIM	:	2023-71-600
Program Studi	:	D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah	:	Vokasi

Disetujui Oleh,

Ketua Penguji

Kartiria, S.T., M.T.

NIDN : 1025128101

Anggota Penguji I

Dr. Ir. Retno Aita Diantari, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

NIDN : 0326098601

Anggota Penguji II/Pembimbing

Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.

NIDN : 0415098

Disetujui Oleh,

Kepala Program Studi

Ir. Sandi Budi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.

NIP : 0309089002

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang sebesar besarnya kepada yang terhormat :

Ibu **Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing**

Yang telah memberikan petunjuk, saran - saran serta bimbingannya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Terimakasih yang sama, saya sampaikan kepada:

1. Bapak Hendri Nugroho selaku Manager di PT.PLN (Persero) UP3 palembang
2. Bapak Heru kurniawan selaku Manager Bagian Jaringan dan kontruksi di PT.PLN (Persero) UP3 Palembang
3. Bapak Rio hendrawan selaku Team Leader PDKB di PT.PLN (Persero) UP3 Palembang
4. Seluruh pegawai bagian Jaringan dan kontruksi di PT.PLN (PerseroUP3 Palembang
5. Kepada Orangtua, keluarga, teman-teman seperjuangan saya yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material.
6. Yang telah mengijinkan melakukan pergumpulan data terkait penelitian ini di PT.PLN (Persero) UP3 Palembang

Jakarta, 28 Januari 2026

Eko Sumedi

NIM 202371600

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi - PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Eko sumedi
NIM	: 202371600
Program Studi	: DIII-Teknologi Listrik
Fakultas	: Sekolah Vokasi
Jenis Karya	: TUGAS AKHIR

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi PLN Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non- exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 28 Januari 2026

Yang Menyatakan

Eko Sumedi
NIM 202371600

ABSTRAK

EKO SUMEDI.

EFEKTIVITAS PROSEDUR PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PADA PENGGANTIAN ISOLATOR POST AKIBAT TEGANGAN LEBIH PETIR DIJARINGAN 20KV PENYULANG RORO

Dibimbing oleh Sofitri Rahayu, S.Pd., M,Eng.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post akibat tegangan lebih petir di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. Penelitian dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif berdasarkan data gangguan jaringan periode September–November 2025 serta data pengukuran tahanan isolasi sebelum dan sesudah penggantian isolator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi sebelum penggantian sebesar ±200 MΩ, yang mengindikasikan penurunan kemampuan isolasi akibat degradasi dan pengaruh surja petir. Setelah dilakukan penggantian menggunakan metode PDKB, nilai tahanan isolasi meningkat signifikan menjadi ±210 GΩ, menunjukkan perbaikan kondisi isolasi dan peningkatan keandalan jaringan. Dari sisi operasional, apabila pekerjaan dilakukan dengan metode offline (padam), durasi padam berkisar antara 1,4 hingga 3,8 jam, dengan nilai Energy Not Supplied (ENS) sebesar 625,0 kWh hingga 1.654,3 kWh per pekerjaan. Dengan penerapan metode PDKB, durasi padam sistem menjadi 0 jam sehingga ENS menjadi 0 kWh. Total energi yang berhasil ditekan dari seluruh pekerjaan mencapai 5.661,6 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa metode PDKB efektif dalam menekan energi tidak tersalurkan, meningkatkan kontinuitas pelayanan, serta mendukung peningkatan keandalan jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro tanpa menimbulkan pemadaman tambahan selama proses pekerjaan.

Kata Kunci : PDKB, Isolator Post, Tegangan Lebih Petir, ENS, Keandalan Jaringan

ABSTRACT

EKO SUMANDI.

EFFECTIVENESS OF LIVE-LINE WORKING (PDKB) PROCEDURES IN POST INSULATOR REPLACEMENT DUE TO LIGHTNING OVERVOLTAGE ON THE 20 KV RORO DISTRIBUTION FEEDER

Supervised by Sofitri Rahayu, S.Pd., M,Eng

This study aims to analyze the effectiveness of the Live Line Working (PDKB) procedure in the replacement of post insulators damaged by lightning overvoltage in the 20 kV distribution network of Roro Feeder. The research employed a descriptive quantitative approach based on disturbance records from September to November 2025 and insulation resistance measurements conducted before and after insulator replacement. The measurement results indicate that the insulation resistance value prior to replacement was approximately ±200 MΩ, reflecting insulation degradation due to lightning surges and environmental exposure. After replacement using the PDKB method, the insulation resistance significantly increased to ±210 GΩ, demonstrating restoration of insulation performance and improved network reliability. From an operational perspective, if the work had been performed using the conventional offline (outage) method, the outage duration would range from 1.4 to 3.8 hours, resulting in Energy Not Supplied (ENS) values between 625.0 kWh and 1,654.3 kWh per activity. By implementing the PDKB method, system outage duration was reduced to 0 hours, and ENS became 0 kWh. The total ENS reduction achieved from all activities reached 5,661.6 kWh. These findings confirm that the PDKB method is effective in minimizing unsupplied energy, maintaining service continuity, and enhancing the reliability of the 20 kV Roro Feeder without causing additional outages during maintenance operations.

.

Keywords: Live-Line Working (PDKB), Post Insulator, Lightning Overvoltage, Energy Not Supplied (ENS), Distribution Network Reliability.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
HALAMAN JUDU ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI v
UCAPAN TERIMASAIH vi
PERNYATAAN PERSETUJUANPUBLIKSAI TUGAS AKHIR vii
ABTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Manfaat 3
1.5 Ruang Lingkup Masalah 3
BAB II 4
TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Landasan Teori 4
2.1.1 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 20 kV 4
2.1.2 Isolator pada Jaringan Distribusi 20 kV 6
2.1.3 Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir (Surja Petir) 8
2.1.4 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) 9
2.2. Penelitian yang Relevan 11
2.3. Kerangka Pemikiran 18

BAB III 20
METODE PENILITIAN 20
3.1 Jenis Penelitian 20
3.2 Populasi dan Sampel 23
3.3 Teknik Pengumpulan Data 24
3.4 Teknik Analisis Data 25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Objek Penelitian dan Kondisi Awal Jaringan Distribusi Penyulang Roro 27
4.2 Hasil Perbandingan Ketahanan Isolasi Isolator Post 31
4.2.1 Kondisi Isolator Post Sebelum Penggantian 32
4.2.2 Kondisi Isolator Post Setelah Penggantian 36
4.2.3 Perbandingan Ketahanan Isolasi Isolator Post Sebelum dan Sesudah Penggantian 40
4.3 Analisis Gangguan Jaringan dan Indikator Keandalan Penyulang Roro 42
4.3.1 Data Gangguan Jaringan Penyulang Roro 43
4.3.2 Perbandingan Indikator Keandalan (SAIDI dan SAIFI) 47
4.3.3 Analisis Tren Penurunan Gangguan Setelah Penggantian Isolator 48
4.4 Analisis ENS sebagai Indikator Dampak Penerapan PDKB 51
4.4.1 Sumber dan Karakteristik Data ENS pada Penyulang Roro 52
4.4.2 Analisis ENS yang Ditekan melalui Penerapan Metode PDKB 54
4.4.3 Keterkaitan ENS dengan Efektivitas Penerapan Metode PDKB 57
4.5 Efektivitas Prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) 59
BAB V PENUTUP 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 62

Daftar Pustaka 63
Daftar Riwayat Hidup 65
Lampiran-Lampiran 67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan 14
Tabel 4.1 Data Pelaksanaan Pekerjaan Menggunakan Metode Padam 30
Tabel 4.2 Kondisi dan Ketahanan Isolasi Isolator Post Sebelum Penggantian pada Penyulang Roro 33
Tabel 4.3 Kondisi dan Ketahanan Isolasi Isolator Post Setelah Penggantian pada Penyulang Roro 37
Tabel 4.4 Perbandingan Ketahanan Isolasi Isolator Post Sebelum dan Sesudah Penggantian 41
Tabel 4.5 Data Kejadian Gangguan Jaringan Penyulang Roro Periode September–November 2025 44
Tabel 4.6 Rekapitulasi Gangguan Bulanan Penyulang Roro Tahun 2025 46
Tabel 4.7 Perbandingan Indikator Keandalan Penyulang Roro 47
Tabel 4.8 Ringkasan Tren Gangguan Jaringan Penyulang Roro 50
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perbandingan Offline dan Online pada Pekerjaan Penggantian Isolator 55
Tabel 4.10 Hubungan Metode PDKB dengan Penekanan Nilai ENS pada Pekerjaan Penggantian Isolator 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola Sistem Tenaga Listrik 5
Gambar 2.2 Isolator Post 6
Gambar 2.3 Isolator Suspension 7
Gambar 2.4 Kerangka Pemikiran 18
Gambar 3.1 Flowchat Penelitian 21
Gambar 4.1 SLD Penyulang RORO 29
Gambar 4.2 Pengerjaan Pemasangan Isolator Tumpu 31
Gambar 4.3 Kondisi Isolator Post Rusak dan Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Sebelum Penggantian 34
Gambar 4.4 Isolator Post Terpasang Sebelum Penggantian di Penyulang Roro 35
Gambar 4.5 Kondisi Isolator Post Baru dan Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Setelah Penggantian 38
Gambar 4.6 Isolator Post Setelah Penggantian pada Penyulang Roro 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan Tugas Akhir..... 67
Lampiran 2 Data Sheet Gangguan Penyulang Roro 69

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyediaan Energi Listrik secara berkelanjutan merupakan kewajiban utama PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang . Gangguan pada jaringan distribusi 20 kV seringkali menyebabkan pemadaman yang merugikan pelanggan dan menurunkan tingkat keandalan sistem. Salah satu penyebab utama gangguan eksternal adalah Sambaran Petir yang menghasilkan tegangan lebih (surja petir) yang dapat merusak komponen kritis, terutama isolator post dan isolator suspension.

Untuk meminimalkan durasi pemadaman, PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang mengimplementasikan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB). PDKB memungkinkan perbaikan dan penggantian komponen yang rusak, termasuk isolator, dilakukan tanpa memutus aliran listrik. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam mengenai kesesuaian teknis peralatan dan prosedur PDKB yang digunakan untuk mengatasi kerusakan spesifik yang diakibatkan oleh surja petir, guna memastikan pekerjaan dapat dilakukan secara aman, efisien, dan efektif sesuai Standar Operasi Prosedur (SOP) dan keselamatan kerja.

Sistem jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang meliputi saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 KV, yang merupakan salah satu bagian penting dalam menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Namun, jaringan distribusi ini rawan mengalami gangguan akibat berbagai faktor, seperti petir, angin, hujan, dan kerusakan peralatan. Oleh karena itu, perawatan rutin, korektif, dan darurat sangat diperlukan untuk meminimalisir gangguan dan memastikan kinerja jaringan distribusi tetap optimal.

Perawatan sistem jaringan distribusi tidak hanya bertujuan untuk mencegah kerusakan, tetapi juga untuk meningkatkan keandalan pelayanan listrik. Dengan melakukan perawatan yang terencana dan sistematis, PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang dapat memastikan bahwa pasokan listrik yang ada dapat memenuhi kebutuhan konsumen

dengan lebih aman dan nyaman. Dalam laporan kerja praktik ini, Penulis akan membahas secara mendalam tentang pemahaman dan perawatan sistem jaringan distribusi di PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang. Dengan demikian, diharapkan LKP ini dapat memberikan untuk meningkatkan kualitas dan keandalan pelayanan listrik di PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah untuk pembahasan pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana bentuk dan tingkat kerusakan isolator post atau suspension pada jaringan distribusi 20 kV yang disebabkan oleh tegangan lebih petir pada lokasi studi ?
2. Bagaimana penerapan peralatan dan teknik kerja PDKB pada proses penggantian isolator yang rusak akibat petir pada jaringan distribusi 20 kV ?
3. Bagaimana efektivitas penggunaan peralatan PDKB dalam mempercepat durasi pekerjaan dan meningkatkan keandalan jaringan dibandingkan metode konvensional (padam) ?

1.3 Tujuan

Melihat rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis jenis, karakteristik, dan tingkat kerusakan isolator post atau suspension yang rusak akibat tegangan lebih petir pada jaringan distribusi 20 kV.
2. Mengidentifikasi serta mendeskripsikan secara teknis penggunaan peralatan dan teknik kerja PDKB dalam proses penggantian isolator rusak akibat petir.
3. Mengevaluasi efektivitas teknis penggunaan peralatan PDKB terhadap durasi pekerjaan dan keandalan jaringan dibandingkan metode konvensional.

1.4 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, manfaat yang di dapatkan sebagai berikut:

1. Bagi PLN : Memberikan masukan teknis dalam rangka peningkatan SOP PDKB dan standarisasi peralatan yang digunakan untuk penanganan kerusakan isolator akibat petir, sehingga meningkatkan keandalan sistem.
2. Bagi Akademisi : Menambah literatur dan referensi ilmiah, khususnya mengenai penerapan teknologi PDKB di Indonesia.
3. Bagi Penulis : Menerapkan teori kelistrikan dan manajemen operasi pada masalah nyata di lapangan

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, untuk mendapat hasil yang diharapkan maka penulis membatasi pembahasan dengan membuat ruang lingkup masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini berfokus pada pekerjaan penggantian isolator post pada Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV.
2. Studi kasus akan dilaksanakan di Jln. Tanjung Api-Api Sungsang Kabupaten Banyu Asin Sumatra Selatan dengan fokus pada sepanjang jalur atau penyulang yang sering mengalami gangguan petir.
3. Kajian teknis mencakup analisis peralatan PDKB yang digunakan, tahapan prosedur kerja, dan aspek keselamatan kerja.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 20 kV

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Sistem ini berperan penting dalam menjamin kontinuitas dan kualitas pasokan listrik. Secara umum, sistem distribusi dibagi menjadi dua jenis, yaitu sistem distribusi tegangan menengah (Medium Voltage Distribution) dan sistem distribusi tegangan rendah (Low Voltage Distribution). [1]

Jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) umumnya beroperasi pada tegangan 20 kV, dan berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi (GID) menuju gardu distribusi (GD) yang lebih dekat dengan pelanggan. Dari gardu distribusi inilah, tenaga listrik kemudian diturunkan tegangannya menjadi 220/380 V untuk disalurkan ke pelanggan rumah tangga maupun industri.

Sistem distribusi 20 kV biasanya menggunakan konfigurasi radial, di mana setiap penyulang hanya melayani satu jalur beban tertentu. Namun dalam kondisi tertentu, konfigurasi loop (cincin) atau spindel dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan, karena dapat menyediakan pasokan cadangan jika terjadi gangguan pada salah satu jalur.

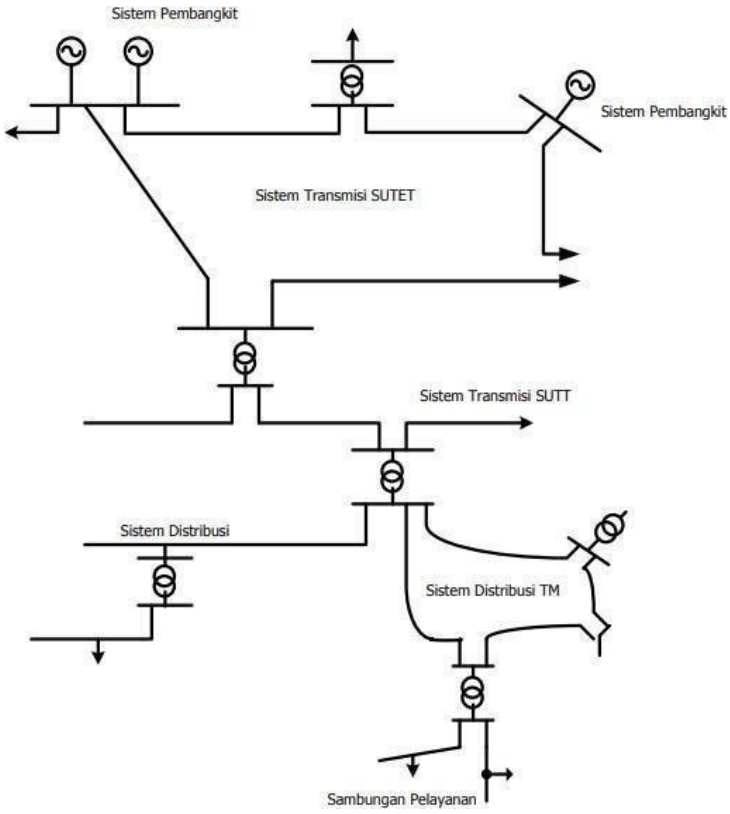
Komponen utama dalam sistem distribusi 20 kV meliputi:

- Konduktor (kawat penghantar), yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik lain.
- Isolator, berfungsi menopang dan memisahkan konduktor dari struktur penyangga agar tidak terjadi arus bocor.
- Tiang distribusi, digunakan untuk menopang seluruh sistem konduktor dan peralatan lainnya.

- Peralatan proteksi dan pengaman, seperti pemutus tenaga (PMT), fuse cut-out (FCO), lightning arrester, dan recloser.

Selain itu, keandalan sistem distribusi diukur melalui parameter seperti SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), yang menunjukkan seberapa sering dan berapa lama pelanggan mengalami gangguan listrik. Semakin kecil nilai SAIDI dan SAIFI, maka semakin andal sistem distribusi tersebut.

Untuk menjaga keandalan tersebut, PLN melakukan kegiatan pemeliharaan rutin, korektif, dan darurat pada jaringan 20 kV. Salah satu bentuk pemeliharaan inovatif yang diterapkan saat ini adalah Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), di mana pekerjaan pemeliharaan dilakukan tanpa memadamkan aliran listrik sehingga kontinuitas pasokan tetap terjaga. [2]



Gambar 2.1 Pola Sistem Tenaga Listrik [3].
(Sumber : Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik)

2.1.2 Isolator pada Jaringan Distribusi 20 kV

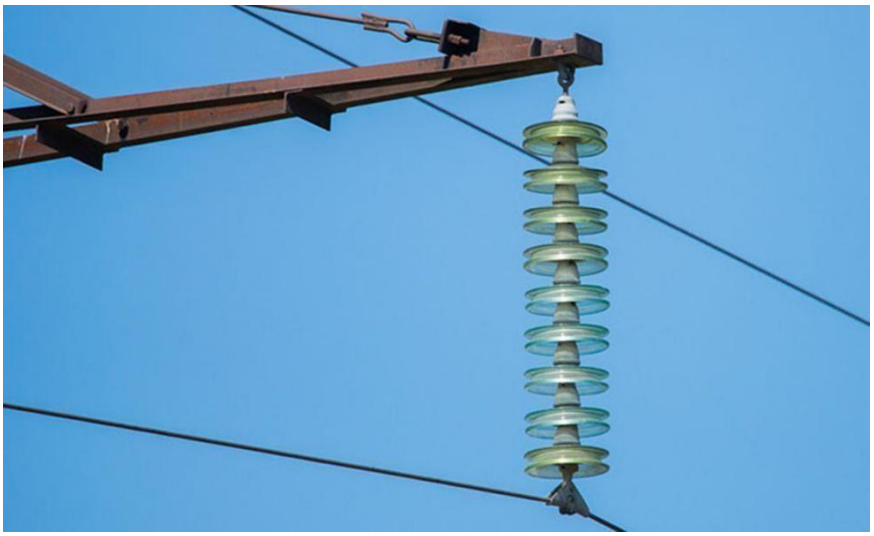
Isolator merupakan salah satu komponen penting pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk memisahkan bagian konduktor yang bertegangan dari bagian yang tidak bertegangan seperti tiang atau struktur penyangga. Tujuan utamanya adalah mencegah terjadinya arus bocor yang dapat menyebabkan gangguan hubung singkat (short circuit), kehilangan daya, atau bahkan kecelakaan kerja pada petugas. [4]

Secara umum, isolator pada jaringan distribusi 20 kV terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu isolator post dan isolator suspension. [3]

1. Isolator Post digunakan pada bagian tiang lurus atau saluran yang tidak mengalami perubahan arah. Isolator jenis ini dipasang tegak pada lengan tiang untuk menyangga konduktor secara kaku.

Gambar 2.2 Isolator Post
(sumber : www.hbjinyong.com/id/insulator/post-insulator/)

2. Isolator Suspension digunakan pada bagian saluran yang mengalami perubahan arah atau pada ujung jaringan. Isolator ini menggantung konduktor dan mampu menahan beban tarik yang lebih besar dibanding isolator post.



Gambar 2.3 Isolator Suspension
(Sumber : https://tjtuofa.com/suspension-insulator-insights/)

Bahan penyusun isolator umumnya berupa porselen, kaca temper, atau polimer komposit. Setiap bahan memiliki karakteristik tersendiri: [5]

- Porselen memiliki kekuatan mekanik tinggi dan tahan terhadap suhu ekstrem, namun berat dan rentan retak.
- Kaca memiliki sifat isolasi yang baik dan mudah dideteksi kerusakannya secara visual.
- Polimer lebih ringan dan tahan terhadap polusi, tetapi masa pakainya bergantung pada kondisi lingkungan.

Kerusakan isolator dapat terjadi akibat tegangan lebih (overvoltage), degradasi permukaan, atau faktor lingkungan seperti kelembaban, debu, dan kontaminan kimia. Jenis kerusakan yang sering terjadi antara lain:

- Tracking, yaitu terbentuknya jalur konduktif di permukaan isolator akibat arus bocor yang berulang.
- Flashover, yaitu lompatan bunga api listrik dari konduktor ke tanah melalui permukaan udara isolator.
- Pecah (crack) akibat tekanan mekanis atau panas yang berlebihan.

Untuk mencegah kerusakan tersebut, dilakukan pengujian tegangan tembus (breakdown voltage test) serta pemeriksaan rutin menggunakan thermal imaging dan visual inspection. Pemeliharaan isolator yang baik menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan sistem distribusi, terutama pada wilayah yang memiliki intensitas petir tinggi.

.

2.1.3 Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir (Surja Petir)

Fenomena petir merupakan salah satu penyebab utama gangguan eksternal pada sistem tenaga listrik, khususnya pada jaringan distribusi udara 20 kV. Petir terjadi karena adanya perbedaan potensial yang sangat besar antara awan dan bumi, atau antara awan dengan awan lainnya. Ketika tegangan ini melampaui kekuatan tembus udara, maka terbentuklah loncatan muatan listrik (discharge) yang dikenal sebagai sambaran petir. [6]

Sambaran petir dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Sambaran langsung (direct lightning strike), yaitu petir yang mengenai langsung konduktor atau peralatan jaringan. Dampaknya sangat besar karena arus petir dapat mencapai ratusan ribu ampere dan menimbulkan tegangan lebih transien yang dapat merusak isolator.
2. Sambaran tidak langsung (induced lightning strike), yaitu petir yang menyambar di sekitar jaringan, di mana arus induksi elektromagnetik yang terbentuk dapat menginduksi tegangan tinggi pada konduktor meskipun tidak terkena sambaran secara langsung.

Tegangan lebih akibat petir dikenal sebagai surja petir (lightning overvoltage). Tegangan ini bersifat impulsif dengan durasi sangat singkat, biasanya memiliki waktu naik sekitar 1,2 mikrodetik dan waktu turun sekitar 50 mikrodetik, yang dikenal dengan istilah gelombang 1,2/50 µs. Tegangan dengan karakteristik seperti ini dapat menyebabkan flashover atau kerusakan permanen pada isolator, terutama pada daerah dengan kerapatan sambaran petir tinggi seperti Sumatra Selatan dan Papua. [7]

Untuk melindungi sistem distribusi dari surja petir, digunakan peralatan Lightning Arrester (LA) yang berfungsi mengalirkan tegangan lebih ke tanah sehingga tidak mengenai

peralatan utama. Selain itu, sistem pentanahan (grounding system) juga berperan penting dalam menyalurkan energi petir secara aman ke bumi.

Namun, tidak semua energi petir dapat diredam oleh arrester. Sebagian tegangan sisa masih dapat mencapai isolator dan menyebabkan penurunan kekuatan dielektriknya. Hal ini menjelaskan mengapa isolator post atau suspension sering mengalami kerusakan meskipun sistem proteksi sudah terpasang. Oleh karena itu, pemeliharaan isolator dan pemeriksaan arrester menjadi bagian penting dalam kegiatan operasi jaringan distribusi. [8]

2.1.4 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) merupakan suatu metode pemeliharaan dan perbaikan jaringan listrik yang dilakukan tanpa memutus aliran listrik. Tujuan utama metode ini adalah untuk meningkatkan kontinuitas pasokan listrik kepada pelanggan dengan tetap menjaga aspek keamanan dan keselamatan kerja bagi petugas. [9]

Secara prinsip, metode PDKB memanfaatkan isolasi jarak dan alat pelindung bertegangan tinggi untuk mencegah terjadinya arus mengalir ke tubuh pekerja. Dalam konteks jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, metode ini memungkinkan penggantian komponen seperti isolator, konduktor, dan sambungan tanpa dilakukan pemadaman.

Menurut Pedoman PDKB PT PLN (Persero) 2020, terdapat tiga teknik utama pelaksanaan pekerjaan bertegangan : [9]

1. Metode Hot Stick

   Pekerjaan dilakukan menggunakan tongkat isolasi (hot stick) yang memiliki panjang dan kekuatan dielektrik tertentu. Petugas tetap berada pada jarak aman dari konduktor bertegangan. Metode ini umum digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV, misalnya untuk penggantian isolator, pemeliharaan konduktor, atau pembersihan isolator.

2. Metode Rubber Glove

   Pekerja menggunakan sarung tangan isolasi (rubber glove) dan selubung pelindung konduktor (rubber blanket). Kontak langsung dengan bagian bertegangan dimungkinkan karena seluruh tubuh pekerja terlindungi bahan isolasi. Metode ini cocok untuk pekerjaan dengan ruang sempit dan tegangan di bawah 36 kV.

3. Metode Bare Hand

   Pekerja berada pada potensial yang sama dengan konduktor melalui proses penyeimbangan potensial menggunakan *bonding stick*. Metode ini digunakan pada tegangan tinggi (≥ 70 kV) dan tidak diterapkan pada jaringan 20 kV karena risiko keselamatan yang lebih besar.

Dalam penerapannya, PDKB memerlukan peralatan khusus seperti hot stick, clamp, rubber blanket, grounding set, line hose, serta bucket truck untuk menjangkau titik kerja. Setiap peralatan harus diuji tahanan isolasinya secara berkala sesuai SPLN D3.022 –2020 untuk menjamin keamanan operasional. [9]

Selain itu, kegiatan PDKB wajib mengikuti prosedur keselamatan kerja (K3) yang meliputi:

- Pemeriksaan area kerja dan identifikasi risiko;
- Penggunaan alat pelindung diri (APD) lengkap seperti helm, sarung tangan isolasi, dan sabuk keselamatan;
- Penentuan jarak aman terhadap konduktor bertegangan sesuai kelas alat;
- Pelaksanaan *briefing* pra-kerja (toolbox meeting) untuk memastikan semua petugas memahami tugas dan potensi bahaya.

Pelaksanaan PDKB memberikan keuntungan besar bagi PLN karena dapat meminimalkan indeks gangguan SAIDI dan SAIFI, meningkatkan efisiensi waktu, serta menurunkan biaya akibat pemadaman. Namun, penerapan metode ini membutuhkan kompetensi tinggi, sertifikasi personel, serta pengawasan ketat agar tidak terjadi kesalahan prosedur yang dapat berakibat fatal. [10]

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurnal, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Menurut Masutiah Susilowati (2023) dalam jurnal berjudul "Pengelolaan Sertifikasi Tim Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) PT Perusahaan Listr ik Negara (Persero) Unit Induk Distribusi Banten" yang diterbitkan pada Syntax Idea Volume 5 Nomor 12 Tahun 2023, penelitian ini membahas pengelolaan sertifikasi kompetensi bagi personel tim PDKB di lingkungan PT PLN (Persero) UID Banten. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan teknik pengumpulan data melalui wawancara, observasi lapangan, dan telaah dokumen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses sertifikasi tim PDKB belum berjalan optimal akibat kendala pada sistem informasi aplikasi Cermat, keterbatasan sumber daya manusia, serta kurangnya pemantauan masa berlaku sertifikasi. Temuan lainnya menunjukkan bahwa sebagian sertifikat personel mendekati masa kedaluwarsa dan tidak sesuai dengan level jabatan, sehingga menimbulkan risiko pada pelaksanaan pekerjaan bertegangan. Studi ini menekankan pentingnya sistem pengelolaan sertifikasi yang terstruktur untuk menjamin kompetensi tenaga teknik dalam pelaksanaan PDKB. Penelitian ini relevan dengan studi saat ini karena sama-sama berfokus pada aspek teknis dan kompetensi kerja petugas PDKB dalam upaya menjaga keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV tanpa pemadaman. [10]
2. Nabila Meitri Mugandi dan Liliana (2022) dalam jurnal berjudul "Maintenance of 20 kV SUTM Distribution Network System (Rose Feeder) at PT PLN ULP Kampar" yang diterbitkan pada Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE) Vol. 2 No. 2 Tahun 2022, meneliti kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi udara 20 kV pada penyulang Mawar di PT PLN (Per-s-e-ro) ULP Kampar. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis gangguan pada jaringan distribusi serta menentukan metode pemeliharaan yang efektif dalam menjaga keandalan sistem. Metode yang digunakan ialah preventive maintenance (Right of Way – ROW) melalui

observasi lapangan, pengumpulan data gangguan, dan inspeksi visual terhadap kondisi jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan pada jaringan 20 kV berasal dari faktor internal (seperti kerusakan peralatan dan pin isolator pecah akibat sambaran petir) dan faktor eksternal (seperti ranting pohon, binatang, serta cuaca ekstrem). Ditemukan adanya 59,7 km pohon mengenai jaringan, 25 FCO rusak, 9 Lightning Arrester rusak, serta 50 pin isolator pecah pada penyulang Mawar. Upaya peningkatan keandalan dilakukan dengan penebangan pohon di jalur jaringan, penggantian arrester, perbaikan kawat pecah, pelurusan tiang miring, dan penggantian isolator. Hasilnya, penerapan pemeliharaan preventif ini terbukti menurunkan frekuensi gangguan dan meningkatkan efektivitas penyaluran energi listrik. Penelitian ini relevan karena membahas kerusakan isolator akibat sambaran petir serta penerapan metode PDKB dalam pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV, yang menjadi fokus utama dalam penelitian saat ini..[11]

3. Fanni Nurfadillah dan Liliana (2022) dalam jurnal berjudul "Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Panam Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA)" yang diterbitkan pada IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy Vol. 2 No. 2 Tahun 2022, melakukan analisis tingkat keandalan jaringan distribusi 20 kV dengan menggunakan metode Reliability Index Assessment (RIA). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai keandalan sistem berdasarkan indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI dengan membandingkannya terhadap standar SPLN 68-2: 1986 dan IEEE 1366-2003. Data diambil dari hasil monitoring pemadaman pelanggan di PT PLN ULP Panam selama tahun 2021. Hasil perhitungan menunjukkan nilai keandalan sistem distribusi sebesar SAIDI = 5,25 jam/pelanggan/tahun, SAIFI = 9,32 kali/pelanggan/tahun, dan CAIDI = 0,56 jam/pelanggan/tahun. Berdasarkan standar SPLN, nilai SAIDI dan CAIDI masih tergolong andal, sedangkan SAIFI melebihi batas standar nasional (3,2 kali/tahun) dan internasional (1,45 kali/tahun), sehingga sistem dikategorikan belum andal sepenuhnya. Peneliti menyimpulkan bahwa faktor penyebab utama penurunan keandalan adalah gangguan eksternal seperti layang-

layang, pohon, dan hewan yang mengenai konduktor, serta komponen jaringan JTM yang sudah menurun kualitasnya. Upaya peningkatan keandalan dilakukan melalui pemeliharaan berkala dan penerapan metode PDKB, karena pekerjaan bertegangan tidak menambah frekuensi pemadaman (SAIFI = 0) sehingga membantu mempertahankan nilai indeks keandalan. Penelitian ini memiliki relevansi kuat dengan studi saat ini karena sama-sama menitikberatkan pada pengaruh penerapan metode PDKB terhadap keandalan jaringan distribusi 20 kV, khususnya dalam konteks pencegahan gangguan dan perbaikan isolator rusak akibat petir. [12]

4. Paulus Mangera dan J. Jayadi (2023) dalam jurnal berjudul "Analisis Rugi Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang Kompi C PT PLN (Persero) UP3 Merauke" yang diterbitkan pada MUSTEK ANIM HA Vol. 12 No. 1 Tahun 2023, melakukan analisis rugi tegangan pada jaringan distribusi primer 20 kV menggunakan metode kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya rugi tegangan sepanjang saluran distribusi akibat pengaruh arus beban, luas penampang konduktor, serta panjang saluran. Data penelitian diambil dari Feeder Kompi C1 dan Kompi C2 yang terpasang pada PLTD Kelapa Lima Merauke dengan dua kondisi pengukuran, yaitu beban puncak siang dan beban puncak malam. Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa rugi tegangan yang terjadi pada Feeder Kompi C1 dengan penghantar A3CS 150 mm² adalah sebesar 276,85 V (1,38 %) saat siang dan 309,91 V (1,55 %) saat malam. Sedangkan pada Feeder Kompi C2 rugi tegangannya sebesar 80,44 V (0,40 %) dan 105,26 V (0,53 %). Untuk penghantar A3CS 70 mm², rugi tegangan mencapai 1657,46 V (8,29 %) saat siang dan 1855,36 V (9,28 %) pada malam hari. Nilai tersebut melebihi batas standar 5 % sesuai Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), sehingga disimpulkan bahwa luas penampang konduktor dan panjang saluran memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya rugi tegangan. Penelitian ini relevan dengan kajian saat ini karena menunjukkan bahwa kondisi jaringan distribusi yang memiliki rugi tegangan tinggi akibat arus lebih dan jarak saluran panjang dapat meningkatkan risiko tegangan lebih transien, yang pada akhirnya berpotensi menyebabkan kerusakan pada isolator.

Hasil ini memperkuat urgensi penerapan metode PDKB sebagai langkah mitigasi untuk menjaga kestabilan dan kontinuitas tegangan pada jaringan distribusi 20 kV..[7]

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan

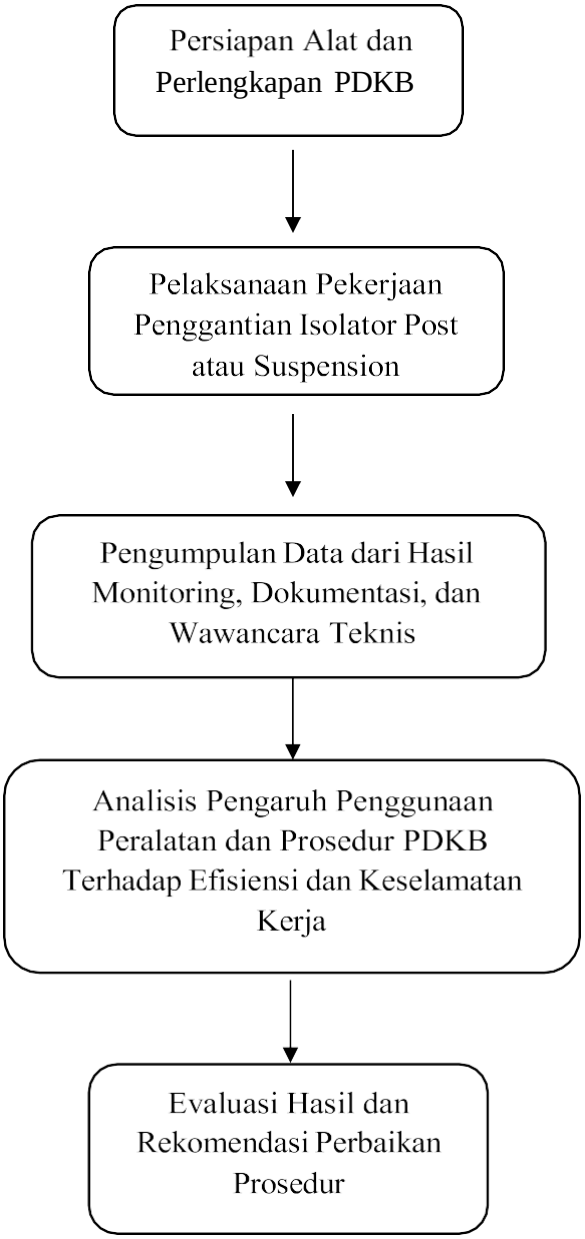
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	"Pengelolaan Sertifikasi Tim Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Banten" (Masutiah Susilowati, 2023)	Masalah utama yang diangkat adalah kurangnya efektivitas pengelolaan sertifikasi kompetensi personel PDKB, termasuk keterlambatan pembaruan data dan minimnya monitoring masa berlaku sertifikat di aplikasi Cermat.	Penelitian menggunakan metode kualitatif deskriptif, dengan teknik pengumpulan data melalui wawancara, observasi lapangan, serta studi dokumen internal PLN UID Banten.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses sertifikasi tim PDKB belum optimal akibat keterbatasan sumber daya manusia, kendala sistem aplikasi, dan kurangnya sosialisasi prosedur sertifikasi. Diperlukan sistem pengawasan dan evaluasi yang lebih terstruktur/	Penelitian ini berfokus pada aspek manajerial dan sertifikasi personel PDKB, sedangkan penelitian saat ini menitikberatkan pada kajian teknis penggunaan peralatan dan prosedur kerja PDKB dalam penggantian isolator rusak akibat petir.

2.	"Maintenance of 20 kV SUTM Distribution Network System (Rose Feeder) at PT PLN (Persero) ULP Kampar" (Nabila Meitri Mugandi & Liliana, 2022)	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah tingginya tingkat gangguan pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Mawar akibat kondisi lingkungan, cuaca ekstrem, dan kerusakan komponen seperti isolator pecah dan arrester rusak.	Penelitian ini menggunakan metode observasi lapangan dan analisis deskriptif kuantitatif. Data dikumpulkan dari hasil inspeksi fisik jaringan serta pencatatan jumlah gangguan berdasarkan kategori internal dan eksternal.	Hasil penelitian menunjukkan adanya 59,7 km pohon menyentuh jaringan, 25 FCO rusak, 9 Lightning Arrester rusak, dan 50 pin isolator pecah. Setelah dilakukan pemeliharaan preventif (penebangan pohon, penggantian isolator, dan arrester), frekuensi gangguan menurun secara signifikan dan kualitas penyaluran energi listrik meningkat.	Penelitian ini menitikberatkan pada pemeliharaan konvensional jaringan 20 kV. Sementara penelitian saat ini berfokus pada metode PDKB (bertegangan) yang memungkinkan pekerjaan penggantian isolator dilakukan tanpa pemadaman, guna meningkatkan keandalan sistem distribusi.

3.	"Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Panam Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA)" (Fanni Nurfadillah & Liliana, 2022)	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah rendahnya tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV yang ditunjukkan oleh nilai SAIFI dan SAIDI yang melebihi standar nasional dan internasional.	Penelitian ini menggunakan metode Reliability Index Assessment (RIA) dengan parameter SAIDI, SAIFI, dan CAIDI. Data diambil dari laporan gangguan dan catatan pemadaman pelanggan PLN ULP Panam selama periode tahun 2021.	Hasil analisis menunjukkan nilai SAIDI sebesar 5,25 jam/pelanggan/tahun, SAIFI sebesar 9,32 kali/pelanggan/tahun, dan CAIDI sebesar 0,56 jam/pelanggan/tahun. Nilai SAIFI melebihi batas standar nasional (3,2 kali/tahun), yang menandakan sistem belum andal sepenuhnya. Faktor utama penyebabnya adalah gangguan eksternal dan degradasi peralatan jaringan.	Penelitian ini menitikberatkan pada perhitungan indeks keandalan sistem tanpa meninjau secara spesifik metode pemeliharaan. Sedangkan penelitian saat ini mengkaji efektivitas penggunaan metode PDKB dan peralatan kerja bertegangan dalam meningkatkan keandalan jaringan.

4.	"Analisis Rugi Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang Kompi C PT PLN (Persero) UP3 Merauke" (Paulus Mangera & J. Jayadi, 2023)	Masalah utama yang dikaji ialah tingginya rugi tegangan pada jaringan distribusi 20 kV akibat panjang saluran, besarnya arus beban, dan ukuran penampang konduktor yang tidak sesuai standar.	Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif analitis dengan pengambilan data arus beban puncak siang dan malam pada penyulang Kompi C1 dan C2 di PLTD Kelapa Lima Merauke. Data kemudian diolah untuk menghitung rugi tegangan berdasarkan luas penampang penghantar A3CS 150 mm² dan 70 mm².	Hasil perhitungan menunjukkan rugi tegangan pada Kompi C1 mencapai 1,38 % (276,85 V) siang dan 1,55 % (309,91 V) malam, sedangkan penghantar 70 mm² menghasilkan 8,29 % (1657,46 V) siang dan 9,28 % (1855,36 V) malam. Nilai ini melebihi batas PUIL 5 %, menunjukkan bahwa dimensi penghantar sangat berpengaruh terhadap kestabilan tegangan.	Penelitian ini menitikberatkan pada analisis rugi tegangan akibat variasi ukuran konduktor, tanpa membahas tindakan pemeliharaan teknis untuk mencegah dampaknya terhadap peralatan. Sedangkan penelitian saat ini fokus pada penerapan metode PDKB sebagai langkah mitigasi teknis terhadap tegangan lebih.

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.4 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum dilakukan analisis teknis terhadap penggunaan peralatan dan prosedur pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB), terlebih dahulu diperlukan tahap persiapan alat dan perlengkapan kerja. Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan kelayakan peralatan PDKB seperti hot stick, rubber blanket, dan alat pelindung diri (APD) untuk memastikan kondisi siap operasi. Setelah semua peralatan siap, kegiatan dilanjutkan dengan pelaksanaan pekerjaan penggantian isolator post atau suspension pada jaringan distribusi 20 kV yang mengalami kerusakan akibat tegangan lebih petir. Selama proses tersebut, dilakukan pengumpulan data teknis melalui observasi lapangan, dokumentasi kegiatan, serta wawancara dengan personel PDKB untuk memperoleh gambaran prosedur dan efektivitas kerja. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis guna menilai pengaruh penerapan peralatan dan prosedur PDKB terhadap efisiensi waktu, keselamatan kerja, serta kontinuitas penyaluran energi listrik. Dari hasil analisis ini, penulis dapat melakukan evaluasi dan memberikan rekomendasi terkait peningkatan keandalan jaringan distribusi melalui penerapan metode PDKB yang lebih optimal.

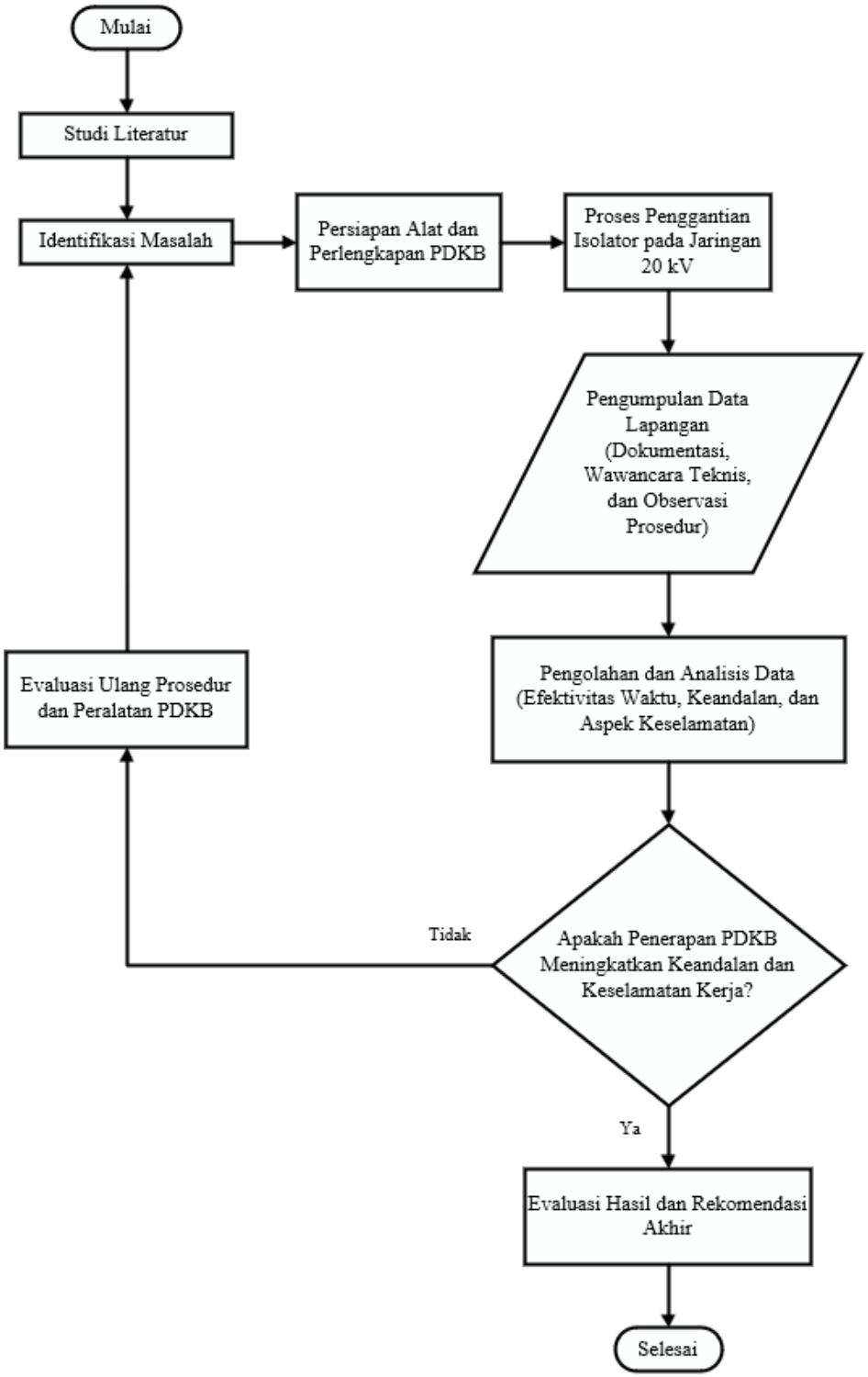
BAB III
METODE PENILITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan studi teknis lapangan, yang bertujuan untuk mengkaji penggunaan peralatan dan prosedur kerja pada kegiatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) di jaringan distribusi 20 kV. Penelitian ini tidak melakukan pengujian eksperimental secara langsung terhadap sampel fisik, melainkan berfokus pada analisis teknis pelaksanaan pekerjaan penggantian isolator post atau suspension yang rusak akibat tegangan lebih petir.

Metode deskriptif dipilih karena sesuai untuk menggambarkan kondisi aktual di lapangan secara sistematis, faktual, dan akurat. Dalam penelitian ini, penulis menganalisis data hasil observasi kegiatan PDKB, dokumentasi lapangan, serta wawancara dengan petugas pelaksana untuk memahami tahapan kerja, jenis peralatan yang digunakan, dan penerapan standar keselamatan kerja.

Penelitian ini dilaksanakan pada PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi S2JB Palembang, khususnya pada wilayah jaringan distribusi 20 kV yang mengalami kerusakan isolator akibat sambaran petir. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat efektivitas dan keselamatan kerja dalam penerapan metode PDKB, serta menjadi bahan evaluasi teknis bagi peningkatan keandalan sistem distribusi tenaga listrik di lingkungan PLN.



Gambar 3.1 Flowchat Penelitian

Dari flowchart di atas mengenai alur penelitian, penulis terlebih dahulu melakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori serta referensi yang berkaitan dengan pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB), terutama pada proses penggantian isolator rusak di jaringan distribusi 20 kV akibat tegangan lebih petir. Kegiatan ini bertujuan untuk memahami prosedur kerja, karakteristik peralatan, serta standar keselamatan yang digunakan dalam metode PDKB. Selanjutnya penulis melakukan identifikasi masalah, yaitu menentukan faktor penyebab gangguan pada isolator serta meninjau efektivitas penerapan metode PDKB yang telah dilakukan di lapangan. Setelah masalah teridentifikasi, dilakukan persiapan alat dan perlengkapan PDKB, meliputi pengecekan kondisi peralatan, kesiapan personel, dan penetapan prosedur kerja sesuai dengan standar PLN. Tahap berikutnya adalah proses penggantian isolator pada jaringan 20 kV yang menjadi objek kajian. Pada tahap ini penulis melakukan pengumpulan data lapangan melalui observasi langsung, dokumentasi kegiatan, serta wawancara teknis dengan petugas pelaksana untuk memperoleh informasi mengenai penerapan metode, penggunaan alat, serta aspek keselamatan kerja. Data yang diperoleh kemudian masuk ke tahap pengolahan dan analisis data, yang mencakup pengukuran efektivitas waktu, tingkat keandalan sistem, serta kesesuaian penerapan prosedur PDKB dengan aspek keselamatan kerja. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dilakukan evaluasi untuk menjawab pertanyaan apakah penerapan metode PDKB mampu meningkatkan keandalan jaringan dan keselamatan kerja petugas. Apabila hasilnya belum optimal, maka dilakukan evaluasi ulang terhadap prosedur dan kondisi peralatan PDKB, kemudian kembali ke tahap identifikasi masalah untuk perbaikan. Namun, jika hasilnya telah memenuhi kriteria efektivitas dan keamanan, maka penelitian dilanjutkan ke tahap evaluasi hasil dan penyusunan rekomendasi akhir. Dari seluruh tahapan tersebut, penulis dapat menarik kesimpulan terkait efektivitas penerapan metode PDKB dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik pada jaringan distribusi 20 kV.

3.2 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kegiatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan distribusi 20 kV di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Sumatera Selatan, Jambi, dan Bengkulu (UID S2JB) Palembang. Populasi tersebut mencakup berbagai jenis pekerjaan pemeliharaan bertegangan, seperti penggantian isolator, inspeksi peralatan, serta pemeliharaan preventif pada jaringan distribusi udara.

Sampel dalam penelitian ini difokuskan pada kegiatan penggantian isolator tumpu (post insulator) berbahan polimer yang mengalami kerusakan akibat tegangan lebih petir, dengan objek kajian pada penyulang Roro yang berlokasi di Jalan Tanjung Api-Api, Palembang. Pemilihan sampel dilakukan secara purposive sampling, yaitu berdasarkan pertimbangan teknis kesesuaian objek dengan fokus penelitian.

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup empat kategori utama, yaitu:

1. Data jenis isolator yang diganti, meliputi tipe isolator (post atau suspension), bahan penyusun (karet silikon, porselen, atau polimer), serta tegangan nominal yang digunakan.
2. Data penyulang 20 kV yang terkena gangguan petir, meliputi nama penyulang, lokasi gangguan, serta frekuensi kejadian gangguan dalam periode tertentu.
3. Prosedur dan Standar Operasi PDKB (SOP) sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan, mencakup metode kerja, peralatan yang digunakan, serta langkah-langkah keselamatan kerja sesuai dengan standar PLN yang berlaku.
4. Hasil observasi lapangan dan dokumentasi kegiatan, yang diperoleh secara langsung selama proses pelaksanaan penggantian isolator di jaringan distribusi 20 kV, termasuk kondisi peralatan, prosedur kerja, dan aspek keselamatan personel di lokasi kerja.

Seluruh data tersebut diperoleh melalui dokumentasi teknis, wawancara dengan petugas PDKB, serta hasil observasi lapangan di wilayah kerja UID S2JB Palembang. Data ini akan digunakan sebagai dasar analisis untuk menilai kesesuaian penerapan prosedur PDKB terhadap standar teknis PLN, serta efektivitas metode tersebut dalam meningkatkan keandalan dan keselamatan kerja pada jaringan distribusi 20 kV.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai tahapan penting dalam memperoleh informasi yang akurat dan relevan terhadap kegiatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan distribusi 20 kV. Data yang dikumpulkan bertujuan untuk mendukung analisis mengenai kesesuaian peralatan, prosedur kerja, serta aspek keselamatan dan keandalan sistem distribusi. Beberapa metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan

   Penulis melakukan pengamatan secara langsung terhadap proses penggantian isolator tumpu (post insulator) berbahan polimer pada penyulang Roro di Jalan Tanjung Api-Api, Palembang. Observasi ini mencakup tahapan pekerjaan, kondisi lingkungan kerja, penggunaan peralatan PDKB, serta penerapan prosedur keselamatan kerja oleh petugas lapangan. Hasil observasi kemudian didokumentasikan dalam bentuk foto, catatan teknis, dan laporan kegiatan yang menjadi bukti empiris penelitian.

2. Wawancara Teknis

   Wawancara dilakukan dengan petugas PDKB distribusi UID S2JB Palembang yang terlibat langsung dalam kegiatan penggantian isolator. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh informasi mendalam mengenai pengalaman lapangan, kendala yang dihadapi selama pelaksanaan pekerjaan, kondisi isolator sebelum dan sesudah diganti, serta efektivitas penerapan metode PDKB dalam menjaga keandalan jaringan.

3. Dokumentasi Teknis

   Metode dokumentasi digunakan untuk memperoleh data sekunder yang bersumber dari dokumen resmi PLN. Data yang dikumpulkan meliputi jenis isolator yang digunakan, data penyulang 20 kV yang terdampak gangguan petir, serta Prosedur dan Standar Operasi PDKB (SOP). Dokumen ini digunakan sebagai acuan pembanding antara kondisi ideal yang ditetapkan perusahaan dengan pelaksanaan aktual di lapangan.

4. Kajian Pustaka

   Selain data lapangan, penulis juga mengumpulkan referensi dari berbagai sumber tertulis seperti buku, jurnal ilmiah, laporan teknis, dan pedoman resmi PLN yang berkaitan

dengan metode PDKB, karakteristik isolator, serta gangguan akibat tegangan lebih petir. Kajian pustaka ini membantu memperkuat dasar teori dan memperjelas arah analisis teknis yang dilakukan.

.

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengolah dan menafsirkan hasil pengamatan yang diperoleh dari lapangan agar dapat menjawab tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif, yaitu dengan menilai kesesuaian antara hasil observasi lapangan terhadap standar prosedur PDKB yang berlaku di PLN, serta mengevaluasi tingkat keandalan jaringan dan aspek keselamatan kerja selama proses pelaksanaan.

Data yang telah dikumpulkan, seperti jenis isolator yang diganti, kondisi penyulang terdampak petir, serta dokumentasi kegiatan PDKB, diolah untuk menilai efektivitas penerapan prosedur dan peralatan kerja. Penilaian dilakukan dengan cara membandingkan data lapangan dengan acuan teknis yang terdapat pada Standar Operasi Prosedur (SOP) PDKB Distribusi dan Pedoman Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PLN, 2020).

Secara umum, tahapan analisis data dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. Klasifikasi Data

   Semua data hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi dikelompokkan berdasarkan jenisnya: data teknis isolator, data gangguan petir, serta data keselamatan dan prosedur kerja.

2. Evaluasi Kesesuaian Prosedur

   Setiap tahapan kerja dibandingkan dengan standar SOP PDKB untuk menilai apakah pelaksanaan di lapangan telah sesuai dengan ketentuan perusahaan, terutama pada aspek pengamanan, penggunaan alat isolasi, dan jarak kerja bertegangan.

3. Analisis Keandalan Sistem

   Mengkaji apakah penerapan metode PDKB pada penggantian isolator dapat mengurangi potensi pemadaman, menekan risiko gangguan akibat petir, serta mempertahankan kontinuitas penyaluran energi listrik.

4. Analisis Aspek Keselamatan Kerja

   Menilai tingkat kepatuhan terhadap prosedur K3 saat pelaksanaan PDKB, seperti penggunaan alat pelindung diri (APD), kondisi peralatan isolasi, dan penerapan sistem pengamanan personel.

5. Penarikan Kesimpulan dan Rekomendasi Teknis

   Berdasarkan hasil evaluasi, penulis menarik kesimpulan terkait efektivitas penerapan metode PDKB serta memberikan rekomendasi perbaikan prosedur atau peralatan apabila ditemukan ketidaksesuaian.

6. Perhitungan Energi Tidak Terselamatkan

$$ENS = P \times t \tag{3.1}$$

dengan:

- **ENS** = energi tidak tersalurkan (kWh),
- **P** = daya beban jaringan yang terputus (kW),
- **t** = lama waktu padam atau waktu offline (jam).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Objek Penelitian dan Kondisi Awal Jaringan Distribusi Penyulang Roro

Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV Penyulang Roro yang bersumber dari Gardu Induk Tanjung Api-Api dan melayani wilayah hingga arah Sungsang. Penyulang ini merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi menyalurkan daya dari sistem transmisi 150 kV menuju beban pelanggan melalui transformator daya 150/20 kV, sebelum didistribusikan lebih lanjut pada jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 kV.

Berdasarkan **Single Line Diagram (SLD) Penyulang Roro** sebagaimana ditunjukkan pada gambar di atas, sistem distribusi diawali dari **bus 150 kV** yang terhubung dengan **transformator daya TD-2 berkapasitas 30 MVA dengan rasio 150 kV/20 kV** di Gardu Induk Tanjung Api-Api. Dari sisi 20 kV, daya disalurkan menuju jaringan distribusi melalui **Penyulang Pinisi**, yang selanjutnya terhubung dengan **peralatan proteksi berupa recloser Pondok Santai** sebelum energi listrik diteruskan ke arah beban akhir di wilayah Sungsang.

Konfigurasi jaringan pada Penyulang Roro menunjukkan sistem distribusi radial, di mana kontinuitas penyaluran energi sangat bergantung pada keandalan peralatan utama seperti transformator daya, recloser, serta kondisi fisik jaringan SUTM 20 kV. Pada konfigurasi ini, gangguan yang terjadi pada salah satu titik jaringan, khususnya pada komponen isolasi seperti **isolator post**, dapat berdampak langsung terhadap pemadaman pelanggan apabila tidak segera ditangani.

Secara lingkungan, Penyulang Roro melintasi wilayah dengan karakteristik terbuka dan kondisi geografis yang relatif rentan terhadap pengaruh cuaca ekstrem, terutama hujan lebat dan aktivitas petir. Kondisi tersebut meningkatkan kemungkinan terjadinya tegangan lebih transien (surja petir) yang dapat menjalar melalui konduktor jaringan dan memberikan tekanan dielektrik berlebih pada isolator post. Dalam jangka waktu tertentu, tegangan lebih

ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan isolasi, munculnya jejak tracking, maupun terjadinya flashover yang memicu gangguan jaringan.

Berdasarkan data gangguan operasional yang tercatat pada periode September hingga November 2025, Penyulang Roro mengalami beberapa kejadian gangguan dengan indikasi penyebab dominan berasal dari faktor eksternal, khususnya petir dan gangguan lingkungan. Gangguan-gangguan tersebut berdampak pada penurunan keandalan jaringan distribusi, yang tercermin dari meningkatnya frekuensi gangguan serta durasi pemadaman, dan secara tidak langsung mempengaruhi indikator keandalan seperti SAIDI, SAIFI, serta energi tidak tersalur (ENS).

Sebagai langkah penanganan gangguan tanpa melakukan pemadaman jaringan, PT PLN (Persero) menerapkan prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada kegiatan penggantian isolator post yang mengalami kerusakan. Penerapan metode PDKB pada Penyulang Roro dilakukan dengan tujuan menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan, sekaligus mempercepat proses perbaikan dan meminimalkan dampak gangguan terhadap sistem distribusi.

Dengan mempertimbangkan konfigurasi jaringan, kondisi lingkungan, serta riwayat gangguan yang terjadi, Penyulang Roro dinilai layak dan representatif sebagai objek penelitian untuk menganalisis efektivitas prosedur PDKB pada penggantian isolator post akibat tegangan lebih petir. Kondisi awal jaringan yang diuraikan pada subbab ini menjadi dasar analisis pada subbab berikutnya, khususnya dalam mengevaluasi kondisi ketahanan isolasi isolator post sebelum dan sesudah penerapan PDKB serta dampaknya terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi 20 kV.

Gambar 4.1 SLD Penyulang RORO

Berdasarkan konfigurasi jaringan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1, setiap pekerjaan pemeliharaan atau penggantian komponen pada penyulang Roro berpotensi menyebabkan gangguan suplai apabila dilakukan dengan metode konvensional (padam). Pada metode ini, penyulang harus dipadamkan terlebih dahulu sebelum pekerjaan dilaksanakan guna menjamin keselamatan kerja.

Untuk mengetahui dampak operasional metode tersebut, dilakukan pengamatan terhadap durasi pekerjaan dan lama padam pada kegiatan penggantian isolator post sebelum penerapan metode PDKB.

Tabel 4.1 Data Pelaksanaan Pekerjaan Menggunakan Metode Padam

No	Jenis Pekerjaan	Waktu Pekerjaan (menit)	Durasi Padam (jam)	Keterangan
1	Penggantian Isolator Post	120	2,0	Dilakukan dengan pemadaman penyulang
2	Penggantian Isolator Gantung	105	1,75	Dilakukan dengan pemadaman penyulang
3	Penggantian Isolator Tumpu	85	1,4	Dilakukan dengan pemadaman penyulang

Pada metode konvensional (metode padam), pekerjaan penggantian isolator dilakukan dengan memadamkan penyulang terlebih dahulu untuk menjamin keselamatan petugas. Berdasarkan data pengamatan, rata-rata waktu pekerjaan berkisar antara 85–120 menit tergantung jenis isolator yang diganti. Dengan adanya pemadaman selama durasi pekerjaan berlangsung, pelanggan mengalami gangguan suplai tenaga listrik sesuai lama pekerjaan tersebut. Kondisi ini berpotensi meningkatkan nilai energi tidak tersalurkan (ENS) serta menurunkan tingkat keandalan penyulang.

4.2 Hasil Perbandingan Ketahanan Isolasi Isolator Post

Ketahanan isolasi isolator post merupakan salah satu faktor penentu dalam menjaga keandalan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, khususnya pada jaringan saluran udara yang terpapar langsung oleh kondisi lingkungan. Dalam konteks penelitian ini, analisis ketahanan isolasi isolator post difokuskan pada perbandingan kondisi sebelum dan sesudah dilakukan penggantian menggunakan prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB).

Pelaksanaan penggantian isolator tumpu pada penyulang Roro dilakukan menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dengan tetap menjaga jarak aman serta prosedur keselamatan kerja sesuai standar operasional PLN. Dokumentasi kegiatan di lapangan ditampilkan pada Gambar 4.2 sebagai bukti pelaksanaan pekerjaan serta kondisi aktual saat proses penggantian isolator dilakukan.

Gambar 4.2 Pengerjaan Pemasangan Isolator Tumpu

4.2.1 Kondisi Isolator Post Sebelum Penggantian

Isolator post merupakan komponen penting pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV yang berfungsi sebagai pemisah listrik antara konduktor bertegangan dengan struktur penyangga. Pada kondisi operasi normal, isolator post harus memiliki kemampuan isolasi yang memadai untuk menahan tegangan kerja sistem serta tegangan lebih sesaat yang dapat timbul akibat pengaruh lingkungan. Namun, pada jaringan distribusi Penyulang Roro, isolator post yang terpasang sebelum dilakukan penggantian menunjukkan indikasi penurunan kondisi isolasi yang berpotensi menurunkan keandalan jaringan.

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan evaluasi teknis terhadap riwayat gangguan, isolator post sebelum penggantian berada pada kondisi yang kurang optimal. Lokasi pemasangan isolator berada pada wilayah yang relatif terbuka dan memiliki intensitas sambaran petir yang cukup tinggi, sehingga isolator sering terpapar tegangan lebih transien (surja petir). Paparan tegangan lebih yang terjadi secara berulang dapat mempercepat proses degradasi material isolator, terutama pada permukaan isolator yang berfungsi sebagai lintasan isolasi terhadap tanah.

Secara visual, kondisi isolator post sebelum penggantian memperlihatkan adanya degradasi permukaan yang ditandai dengan munculnya jejak tracking dan indikasi flashover. Jejak tracking menunjukkan terbentuknya jalur konduktif pada permukaan isolator akibat arus bocor yang terjadi secara berulang, khususnya pada kondisi cuaca lembap atau saat hujan. Selain itu, indikasi flashover menunjukkan bahwa isolator telah mengalami tekanan dielektrik yang mendekati atau melampaui kemampuan isolasinya, sehingga meningkatkan risiko terjadinya gangguan hubung singkat ke tanah.

Penurunan kondisi isolasi pada isolator post tersebut berdampak langsung terhadap keandalan operasi jaringan. Isolator yang tidak lagi memiliki ketahanan isolasi yang baik berpotensi menjadi titik gangguan berulang pada jaringan distribusi. Hal ini sejalan dengan data gangguan yang tercatat pada Penyulang Roro, di mana sebelum dilakukan penggantian isolator, frekuensi gangguan cenderung meningkat terutama pada periode dengan intensitas hujan dan petir yang tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya korelasi antara penurunan ketahanan isolasi isolator post dengan meningkatnya kejadian gangguan jaringan.

Secara teknis, ketahanan isolasi isolator post sebelum penggantian dapat dikategorikan menurun. Berdasarkan pendekatan literatur dan spesifikasi teknis isolator post jaringan distribusi 20 kV, isolator yang telah mengalami degradasi umumnya memiliki nilai ketahanan isolasi yang lebih rendah dibandingkan kondisi awalnya. Penurunan ketahanan isolasi ini menyebabkan isolator tidak lagi mampu menahan tegangan lebih petir secara optimal, sehingga risiko terjadinya flashover dan trip peralatan proteksi menjadi lebih tinggi.

Untuk memberikan gambaran kondisi awal isolator post sebelum penggantian, ringkasan hasil pengamatan dan evaluasi teknis disajikan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Kondisi dan Ketahanan Isolasi Isolator Post Sebelum Penggantian pada Penyulang Roro

No	Parameter Pengamatan	Kondisi Isolator Post Sebelum Penggantian	Keterangan Teknis
1	Jenis isolator	Isolator post	Digunakan pada jaringan SUTM 20 kV
2	Tegangan nominal	20 kV	Sesuai sistem distribusi tegangan menengah
3	Lokasi pemasangan	Penyulang Roro	Wilayah dengan paparan petir tinggi
4	Kondisi fisik permukaan	Mengalami degradasi permukaan	Dipengaruhi faktor cuaca dan lingkungan
5	Indikasi kerusakan	Jejak tracking dan indikasi flashover	Akibat tegangan lebih petir
6	Ketahanan isolasi	Menurun (± 200–500 MΩ)	Dibandingkan kondisi isolator normal
7	Kemampuan menahan surja petir	Rendah	Isolator tidak optimal menahan tegangan impuls
8	Risiko gangguan jaringan	Tinggi	Berpotensi menyebabkan trip berulang
9	Keandalan operasi	Kurang andal	Tidak direkomendasikan untuk operasi jangka panjang
10	Kesesuaian terhadap standar teknis	Tidak memenuhi kondisi ideal	Menjadi dasar dilakukan penggantian

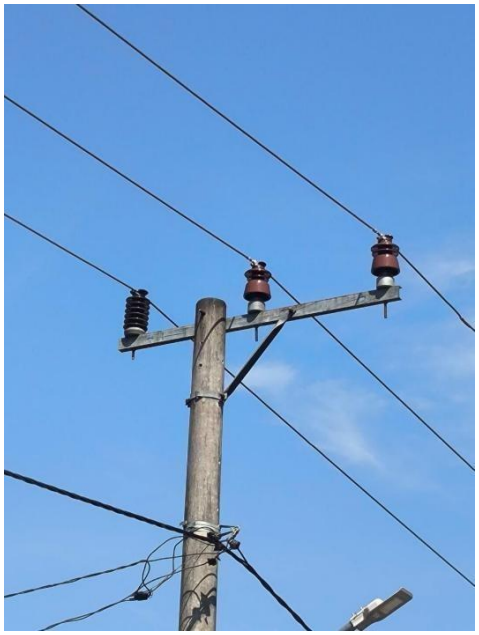
Berdasarkan data pada Tabel 4.2, dapat disimpulkan bahwa isolator post sebelum penggantian berada pada kondisi yang kurang andal untuk mendukung operasi jaringan distribusi secara berkelanjutan. Penurunan ketahanan isolasi serta meningkatnya risiko gangguan menjadi pertimbangan utama dilakukannya tindakan perbaikan melalui penggantian isolator post. Kondisi awal ini selanjutnya dijadikan acuan pembanding untuk mengevaluasi kondisi isolator post setelah penggantian menggunakan prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

Untuk memperkuat hasil analisis pada Tabel 4.1, dilakukan dokumentasi visual terhadap kondisi isolator sebelum penggantian serta pengukuran tahanan isolasi menggunakan alat uji megger. Dokumentasi ini bertujuan untuk memberikan bukti teknis mengenai degradasi isolator yang menjadi dasar dilakukannya tindakan perbaikan.

Gambar 4.3 Kondisi Isolator Post Rusak dan Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Sebelum Penggantian

Berdasarkan dokumentasi visual pada Gambar 4.3, terlihat adanya degradasi permukaan isolator yang ditandai dengan jejak kontaminasi dan indikasi tracking pada bagian badan isolator. Kondisi tersebut menunjukkan adanya penurunan kualitas material isolasi akibat pengaruh tegangan lebih petir dan faktor lingkungan.

Hasil pengukuran menggunakan insulation tester menunjukkan nilai tahanan isolasi sebesar ±200 MΩ. Nilai ini berada pada batas bawah kemampuan isolasi untuk jaringan distribusi 20 kV dan mengindikasikan terjadinya penurunan kemampuan menahan arus bocor. Penurunan nilai tahanan isolasi ini berpotensi meningkatkan risiko gangguan seperti flashover atau trip penyulang terutama pada kondisi kelembaban tinggi.



Gambar 4.4 Isolator Post Terpasang Sebelum Penggantian di Penyulang Roro

Secara instalasi, isolator tersebut masih terpasang pada struktur jaringan dan beroperasi dalam kondisi tegangan normal. Namun, dengan nilai tahanan isolasi yang telah menurun, keberlanjutan operasi dalam jangka panjang berisiko menurunkan keandalan penyulang. Oleh karena itu, tindakan penggantian melalui metode PDKB dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan berulang tanpa harus melakukan pemadaman sistem.

4.2.2 Kondisi Isolator Post Setelah Penggantian

Setelah dilakukan penggantian isolator post pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV Penyulang Roro, kondisi isolasi pada titik pekerjaan menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan kondisi sebelum penggantian. Penggantian isolator dilakukan menggunakan prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) sehingga selama pelaksanaan pekerjaan jaringan tetap beroperasi dan tidak dilakukan pemadaman pada pelanggan. Isolator post yang dipasang merupakan isolator baru dengan spesifikasi yang sesuai untuk sistem distribusi 20 kV dan dipasang pada lokasi yang sebelumnya menjadi titik gangguan.

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan setelah pekerjaan selesai, isolator post yang baru terpasang berada dalam kondisi fisik yang baik. Permukaan isolator tampak bersih, utuh, dan tidak menunjukkan adanya indikasi kerusakan seperti jejak tracking, retak, maupun bekas flashover. Kondisi fisik ini menunjukkan bahwa isolator baru memiliki kemampuan isolasi yang optimal dalam memisahkan konduktor bertegangan dengan struktur penyangga, serta mampu menahan tegangan kerja sistem secara normal.

Selain dari sisi visual, kondisi isolasi isolator post setelah penggantian juga ditinjau dari stabilitas operasi jaringan. Setelah isolator baru terpasang, tidak ditemukan adanya gangguan ulang pada titik isolator yang sama, baik pada kondisi cuaca normal maupun pada saat terjadi hujan. Hal ini menunjukkan bahwa isolator post baru mampu menghilangkan potensi gangguan yang sebelumnya disebabkan oleh penurunan kondisi isolasi isolator lama akibat pengaruh tegangan lebih petir.

Secara teknis, ketahanan isolasi isolator post setelah penggantian berada pada kategori **baik dan stabil**. Berdasarkan evaluasi teknis dan hasil pengamatan operasional jaringan, isolator post baru memiliki nilai ketahanan isolasi **≥ 1.000 MΩ**, yang menunjukkan kemampuan isolasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelum penggantian. Nilai ini mencerminkan bahwa isolator mampu menahan tegangan operasi jaringan 20 kV serta tegangan lebih sesaat yang timbul akibat sambaran petir, sehingga risiko terjadinya flashover dapat ditekan secara signifikan.

Peningkatan ketahanan isolasi ini berdampak langsung terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi. Dengan kondisi isolator yang baik, kemungkinan terjadinya arus bocor pada permukaan isolator menjadi sangat kecil, sehingga peralatan proteksi jaringan tidak mudah bekerja akibat gangguan isolasi. Hal ini memperkuat indikasi bahwa penggantian isolator post menggunakan prosedur PDKB merupakan tindakan perbaikan yang tepat dan efektif dalam menangani permasalahan gangguan pada Penyulang Roro.

Untuk memperjelas kondisi isolator post setelah penggantian, ringkasan hasil pengamatan dan evaluasi teknis disajikan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Kondisi dan Ketahanan Isolasi Isolator Post Setelah Penggantian pada Penyulang Roro

No	**Parameter Pengamatan**	**Kondisi Isolator Post Setelah Penggantian**	**Keterangan Teknis**
1	Jenis isolator	Isolator post baru	Pengganti isolator lama
2	Tegangan nominal	20 kV	Sesuai sistem distribusi
3	Lokasi pemasangan	Penyulang Roro	Titik isolator yang sebelumnya sering mengalami gangguan
4	Kondisi fisik permukaan	Bersih dan utuh	Tidak terdapat tracking atau retak
5	Indikasi kerusakan	Tidak ada	Kondisi normal pasca penggantian
6	Ketahanan isolasi	$\geq$ 1.000 MΩ	Menunjukkan isolasi yang baik dan stabil
7	Kemampuan menahan surja petir	Baik	Risiko flashover menurun
8	Risiko gangguan jaringan	Rendah	Tidak ditemukan gangguan ulang
9	Keandalan operasi	Andal	Layak untuk operasi berkelanjutan

No	Parameter Pengamatan	Kondisi Isolator Post Setelah Penggantian	Keterangan Teknis
10	Kesesuaian terhadap standar teknis	Memenuhi	Sesuai ketentuan jaringan distribusi 20 kV

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan data pada Tabel 4.3, dapat disimpulkan bahwa kondisi isolator post setelah penggantian mengalami peningkatan yang nyata dibandingkan kondisi sebelum penggantian. Isolator baru mampu mengembalikan fungsi isolasi secara optimal dan menekan potensi gangguan yang bersumber dari kegagalan isolasi. Dengan demikian, penggantian isolator post menggunakan prosedur PDKB memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi pada Penyulang Roro.

Gambar 4.5 Kondisi Isolator Post Baru dan Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Setelah Penggantian

Berdasarkan dokumentasi visual pada Gambar 4.5, isolator post yang telah diganti menunjukkan kondisi fisik yang bersih dan bebas dari jejak kontaminasi maupun indikasi

tracking. Permukaan isolator dalam keadaan utuh dan sesuai dengan spesifikasi teknis jaringan distribusi 20 kV.

Hasil pengukuran menggunakan insulation tester menunjukkan nilai tahanan isolasi sebesar ±210 GΩ. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelum penggantian dan menunjukkan kemampuan isolasi yang sangat baik dalam menahan arus bocor serta tegangan impuls akibat surja petir. Peningkatan signifikan ini mengindikasikan bahwa tindakan penggantian isolator berhasil mengembalikan performa isolasi jaringan pada kondisi optimal.

Gambar 4.6 Isolator Post Setelah Penggantian pada Penyulang Roro

Secara operasional, setelah dilakukan penggantian menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), penyulang tetap dalam kondisi bertegangan tanpa mengalami pemadaman. Hal ini menunjukkan bahwa selain meningkatkan kualitas isolasi, metode PDKB juga mampu menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik kepada pelanggan.

4.2.3 Perbandingan Ketahanan Isolasi Isolator Post Sebelum dan Sesudah Penggantian

Perbandingan ketahanan isolasi isolator post sebelum dan sesudah penggantian dilakukan untuk menilai efektivitas tindakan perbaikan yang telah diterapkan pada jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. Analisis ini difokuskan pada perubahan kondisi isolasi yang terjadi akibat penggantian isolator post yang sebelumnya mengalami penurunan kinerja akibat pengaruh tegangan lebih petir. Dengan membandingkan kedua kondisi tersebut, dapat diketahui sejauh mana penggantian isolator mampu meningkatkan kemampuan isolasi dan keandalan jaringan.

Berdasarkan hasil evaluasi kondisi sebelum penggantian, isolator post berada pada kondisi yang kurang optimal dengan ketahanan isolasi yang menurun. Indikasi degradasi permukaan isolator, munculnya jejak tracking, serta potensi terjadinya flashover menunjukkan bahwa isolator lama tidak lagi mampu menahan tegangan kerja sistem dan tegangan lebih sesaat secara maksimal. Kondisi ini menyebabkan risiko gangguan jaringan menjadi tinggi dan berkontribusi terhadap terjadinya gangguan berulang pada titik yang sama.

Sebaliknya, setelah dilakukan penggantian isolator post menggunakan prosedur PDKB, kondisi isolasi pada titik tersebut menunjukkan peningkatan yang signifikan. Isolator post baru berada dalam kondisi fisik yang baik, dengan permukaan isolasi bersih dan tidak ditemukan indikasi kerusakan. Nilai ketahanan isolasi setelah penggantian berada pada kategori tinggi dan stabil, sehingga mampu menahan tegangan operasi jaringan serta menurunkan risiko terjadinya gangguan akibat kegagalan isolasi.

Peningkatan ketahanan isolasi ini memberikan dampak langsung terhadap keandalan jaringan distribusi. Dengan kondisi isolator yang lebih baik, potensi terjadinya arus bocor dan flashover dapat ditekan, sehingga frekuensi gangguan pada titik isolator yang telah diganti menjadi lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian isolator post merupakan langkah perbaikan yang efektif dalam mengatasi permasalahan gangguan akibat penurunan kondisi isolasi pada Penyulang Roro.

Ringkasan perbandingan kondisi ketahanan isolasi isolator post sebelum dan sesudah penggantian disajikan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.4 Perbandingan Ketahanan Isolasi Isolator Post Sebelum dan Sesudah Penggantian

No	Parameter Perbandingan	Sebelum Penggantian	Sesudah Penggantian	Keterangan Teknis
1	Jenis isolator	Isolator post lama	Isolator post baru	Penggantian pada titik gangguan
2	Tegangan nominal	20 kV	20 kV	Sistem distribusi tetap
3	Kondisi fisik permukaan	Terdegradasi	Bersih dan utuh	Tracking hilang setelah penggantian
4	Indikasi flashover	Ada potensi	Tidak ditemukan	Risiko loncatan bunga api menurun
5	Ketahanan isolasi	± 200–500 MΩ	≥ 1.000 MΩ	Terjadi peningkatan signifikan
6	Kemampuan menahan surja petir	Rendah	Baik	Isolator baru lebih stabil
7	Risiko gangguan jaringan	Tinggi	Rendah	Gangguan ulang tidak ditemukan
8	Keandalan operasi	Kurang andal	Andal	Layak untuk operasi berkelanjutan

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 4.4, terlihat bahwa penggantian isolator post memberikan peningkatan ketahanan isolasi yang nyata, baik dari sisi kondisi fisik maupun kemampuan menahan tegangan lebih petir. Peningkatan nilai ketahanan isolasi dari kisaran ratusan megaohm menjadi di atas satu gigaohm menunjukkan bahwa isolator post baru mampu bekerja lebih optimal dalam mendukung operasi jaringan distribusi.

Dengan demikian, hasil perbandingan ini menegaskan bahwa penggantian isolator post menggunakan prosedur PDKB efektif dalam memperbaiki kondisi isolasi jaringan dan menjadi dasar penting dalam peningkatan keandalan jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. Hasil analisis pada subbab ini selanjutnya menjadi landasan untuk pembahasan dampak penggantian isolator terhadap gangguan jaringan dan indikator keandalan pada subbab berikutnya.

4.3 Analisis Gangguan Jaringan dan Indikator Keandalan Penyulang Roro

Subbab ini membahas analisis gangguan jaringan pada Penyulang Roro serta pengaruhnya terhadap indikator keandalan sistem distribusi sebelum dan sesudah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB). Analisis difokuskan pada data gangguan aktual yang tercatat selama periode September hingga Desember 2025, dengan tujuan untuk mengidentifikasi perubahan pola gangguan dan kecenderungan keandalan jaringan setelah dilakukan tindakan perbaikan pada komponen isolasi.

Data gangguan yang dianalisis merupakan data operasional lapangan yang mencakup informasi waktu padam, waktu nyala kembali, lama padam, serta nilai energi tidak tersalurkan (Energy Not Supplied/ENS). Dalam pengolahan data, setiap kejadian gangguan dikelompokkan berdasarkan **tanggal terjadinya padam**, sedangkan data waktu nyala digunakan untuk menentukan durasi padam dan besarnya ENS. Pendekatan ini diterapkan agar setiap kejadian gangguan dihitung satu kali sesuai dengan waktu terjadinya gangguan pada jaringan, sehingga analisis yang dihasilkan mencerminkan kondisi aktual sistem distribusi.

Analisis gangguan pada subbab ini tidak hanya meninjau jumlah kejadian padam, tetapi juga mempertimbangkan durasi padam dan nilai ENS sebagai indikator dampak gangguan terhadap kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Dengan demikian, perubahan tingkat keandalan jaringan dapat diamati secara lebih komprehensif, baik dari sisi frekuensi gangguan maupun besarnya energi yang tidak tersalurkan kepada pelanggan.

Hasil analisis gangguan jaringan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam evaluasi indikator keandalan sistem distribusi, khususnya SAIDI dan SAIFI, serta untuk menilai efektivitas penggantian isolator post menggunakan metode PDKB terhadap peningkatan keandalan Penyulang Roro. Melalui pendekatan ini, hubungan antara perbaikan kondisi isolasi peralatan dengan penurunan gangguan jaringan dapat dianalisis secara sistematis dan berbasis data lapangan.

4.3.1 Data Gangguan Jaringan Penyulang Roro

Subbab ini menyajikan data gangguan jaringan distribusi 20 kV pada Penyulang Roro yang terjadi selama periode September hingga November 2025. Data gangguan yang digunakan merupakan data operasional lapangan yang mencatat waktu padam, waktu nyala kembali, lama padam, nilai energi tidak tersalurkan (Energy Not Supplied/ENS), kelompok penyebab gangguan, serta status penormalan jaringan. Penyajian data ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai kondisi keandalan jaringan sebelum dan setelah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB).

Dalam pengolahan data, pengelompokan kejadian gangguan didasarkan pada **tanggal padam** sebagai waktu terjadinya gangguan pada jaringan. Sementara itu, data tanggal dan jam nyala digunakan untuk menentukan lama padam serta besarnya ENS. Pendekatan ini diterapkan agar setiap kejadian gangguan hanya dihitung satu kali sesuai waktu terjadinya gangguan, sehingga analisis yang dilakukan mencerminkan kondisi aktual sistem distribusi.

Tabel 4.5 Data Kejadian Gangguan Jaringan Penyulang Roro Periode September–November 2025

No	Tanggal Padam	Jam Padam	Tanggal Nyala	Jam Nyala	Lama Padam (jam)	ENS (kWh)	Kelompok Penyebab	Penormalan
1	23/09/2025	14.37.47	23/09/2025	16.19.00	1,69	1.190,71	Pohon	FULL
2	29/09/2025	04.56.00	29/09/2025	07.49.00	2,88	2.119,97	Tidak Diketahui	FULL
3	04/10/2025	21.56.13	04/10/2025	23.17.00	1,35	1.187,92	Tiang	SEBAGIAN
4	18/10/2025	06.34.00	18/10/202	06.35.00	0,02	8,82	Pohon	FULL
5	28/10/2025	07.15.40	28/10/202	07.16.00	0,01	3,59	Pohon	FULL
6	17/11/2025	05.48.59	17/11/2025	07.07.00	1,30	1.185,48	Pohon	FULL

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa gangguan jaringan pada Penyulang Roro selama periode pengamatan didominasi oleh gangguan dengan kelompok penyebab **pohon**, yang menunjukkan adanya pengaruh lingkungan sekitar jaringan terhadap keandalan sistem distribusi. Selain itu, terdapat satu kejadian gangguan dengan penyebab **tidak diketahui** serta satu gangguan yang berkaitan dengan **kondisi tiang**, yang mengindikasikan adanya variasi sumber gangguan pada jaringan.

Dari sisi durasi padam, gangguan pada bulan September menunjukkan lama padam yang relatif lebih besar dibandingkan bulan berikutnya, dengan durasi mencapai lebih dari 2 jam pada salah satu kejadian. Kondisi ini berdampak langsung pada besarnya nilai ENS, di mana nilai ENS tertinggi tercatat pada bulan September 2025. Hal tersebut mengindikasikan bahwa gangguan yang terjadi pada periode awal pengamatan masih memberikan dampak signifikan terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan.

Memasuki bulan Oktober 2025, jumlah kejadian gangguan masih terjadi, namun durasi padam dan nilai ENS yang tercatat cenderung lebih kecil. Pada bulan ini juga terlihat adanya gangguan dengan durasi sangat singkat dan nilai ENS yang rendah, yang menunjukkan bahwa sebagian gangguan dapat segera ditangani tanpa menimbulkan dampak yang besar terhadap penyaluran energi listrik. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan mulai dilakukannya tindakan perbaikan pada komponen jaringan, termasuk penggantian isolator post.

Pada bulan November 2025, jumlah kejadian gangguan semakin berkurang dan nilai ENS yang tercatat relatif lebih rendah dibandingkan periode sebelumnya. Gangguan yang terjadi pada bulan ini juga dapat dinormalisasi dengan cepat, yang tercermin dari status penormalan **FULL** pada seluruh kejadian. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan stabilitas jaringan serta perbaikan kinerja peralatan setelah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode PDKB.

Untuk melihat kecenderungan gangguan secara lebih jelas, data kejadian pada Tabel 4.4 selanjutnya direkapitulasi berdasarkan bulan terjadinya gangguan, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Gangguan Bulanan Penyulang Roro Tahun 2025

Bulan 2025	**Jumlah Gangguan (kali)**	**Total Lama Padam (jam)**	**Total ENS (kWh)**
September	2	4,57	**3.310,68**
Oktober	3	1,38	**1.200,33**
November	1	1,30	**1.185,48**

Berdasarkan Tabel 4.6, terlihat adanya **tren penurunan dampak gangguan** dari bulan September hingga November 2025. Meskipun jumlah gangguan pada bulan Oktober masih relatif lebih banyak, total lama padam dan nilai ENS menunjukkan penurunan yang signifikan dibandingkan bulan September. Selanjutnya, pada bulan November hanya tercatat satu kejadian gangguan dengan total lama padam dan nilai ENS yang lebih rendah, yang mengindikasikan peningkatan keandalan jaringan.

Secara keseluruhan, data gangguan yang disajikan pada subbab ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode PDKB, gangguan jaringan pada Penyulang Roro cenderung berkurang baik dari sisi durasi padam maupun besarnya energi tidak tersalurkan. Hasil analisis data gangguan ini menjadi dasar untuk perhitungan dan pembahasan indikator keandalan jaringan, yaitu SAIDI dan SAIFI, yang akan dibahas pada subbab selanjutnya.

4.3.2 Perbandingan Indikator Keandalan (SAIDI dan SAIFI)

Subbab ini membahas perbandingan indikator keandalan jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro sebelum dan sesudah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB). Indikator keandalan yang digunakan dalam analisis ini adalah SAIDI dan SAIFI, yang secara umum merepresentasikan tingkat keandalan jaringan dari sisi **durasi padam** dan **frekuensi gangguan** yang dialami pelanggan.

Analisis indikator keandalan dilakukan dengan mengacu pada data gangguan jaringan yang telah disajikan pada Subbab 4.3.1. Parameter yang menjadi fokus utama dalam analisis ini meliputi jumlah kejadian gangguan dan total lama padam pada setiap periode pengamatan. Dengan membandingkan parameter tersebut pada kondisi sebelum dan sesudah penggantian isolator post, dapat diketahui perubahan tingkat keandalan jaringan secara komparatif.

Hasil perbandingan indikator keandalan Penyulang Roro disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perbandingan Indikator Keandalan Penyulang Roro

Periode Pengamatan	**Jumlah Gangguan (kali)**	**Total Lama Padam (jam)**	**Kondisi Keandalan**
Sebelum Penggantian Isolator (September 2025)	2	4,57	Rendah
Masa Transisi (Oktober 2025)	3	1,38	Mulai Membaik
Sesudah Penggantian Isolator (November 2025)	1	1,30	Lebih Baik

Berdasarkan Tabel 4.7, pada periode sebelum penggantian isolator post, yaitu bulan September 2025, tingkat keandalan jaringan Penyulang Roro masih relatif rendah. Hal ini ditunjukkan oleh total lama padam yang cukup besar meskipun jumlah gangguan yang terjadi tidak terlalu banyak. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa gangguan yang terjadi memiliki dampak yang signifikan terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Pada periode transisi bulan Oktober 2025, jumlah kejadian gangguan masih tercatat relatif lebih banyak dibandingkan bulan September. Namun demikian, total lama padam mengalami penurunan yang cukup signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun gangguan belum sepenuhnya dapat dihilangkan, durasi padam akibat gangguan mulai dapat dikendalikan dengan lebih baik, sehingga dampaknya terhadap pelanggan menjadi lebih kecil.

Selanjutnya, pada periode setelah penggantian isolator post, yaitu bulan November 2025, jumlah kejadian gangguan menurun secara signifikan dan total lama padam relatif lebih rendah dibandingkan periode sebelumnya. Kondisi ini mencerminkan adanya peningkatan keandalan jaringan, yang ditunjukkan oleh berkurangnya frekuensi gangguan serta durasi padam yang lebih singkat.

Secara keseluruhan, perbandingan indikator keandalan pada subbab ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode PDKB, Penyulang Roro mengalami perbaikan tingkat keandalan jaringan. Penurunan durasi padam dan frekuensi gangguan menjadi indikasi bahwa kondisi jaringan lebih stabil dibandingkan sebelum dilakukan penggantian isolator. Hasil analisis ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembahasan tren penurunan gangguan jaringan pada subbab berikutnya.

4.3.3 Analisis Tren Penurunan Gangguan Setelah Penggantian Isolator

Subbab ini membahas tren penurunan gangguan jaringan pada Penyulang Roro setelah dilakukan penggantian isolator post menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB). Analisis difokuskan pada perubahan pola gangguan yang diamati dari data gangguan jaringan periode September hingga November 2025, dengan meninjau kecenderungan jumlah gangguan, total lama padam, serta besarnya energi tidak tersalurkan (ENS). Pendekatan ini bertujuan untuk menilai dampak penggantian isolator post terhadap peningkatan stabilitas dan keandalan jaringan secara bertahap.

Berdasarkan data gangguan yang telah disajikan pada Subbab 4.3.1 dan hasil perbandingan indikator keandalan pada Subbab 4.3.2, terlihat adanya perubahan pola

gangguan yang cukup jelas dari waktu ke waktu. Pada periode awal pengamatan, yaitu bulan September 2025, gangguan jaringan masih terjadi dengan dampak yang relatif besar. Meskipun jumlah kejadian gangguan tidak terlalu banyak, durasi padam yang terjadi cukup panjang sehingga menghasilkan nilai ENS yang tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa gangguan yang terjadi pada periode tersebut memiliki dampak signifikan terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Memasuki bulan Oktober 2025, pola gangguan mulai menunjukkan perubahan. Jumlah kejadian gangguan masih tercatat, namun durasi padam dan nilai ENS yang dihasilkan cenderung lebih kecil dibandingkan bulan September. Selain itu, pada bulan ini mulai ditemukan kejadian gangguan dengan durasi sangat singkat dan nilai ENS yang rendah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa gangguan yang terjadi dapat ditangani dengan lebih cepat, sehingga dampaknya terhadap pelanggan menjadi lebih terbatas. Periode ini dapat dipandang sebagai masa transisi, di mana upaya perbaikan jaringan, termasuk penggantian isolator post, mulai memberikan pengaruh terhadap performa sistem.

Pada bulan November 2025, tren penurunan gangguan semakin terlihat. Jumlah kejadian gangguan berkurang secara signifikan, dan gangguan yang terjadi memiliki durasi padam yang relatif singkat. Nilai ENS yang tercatat pada periode ini juga lebih rendah dibandingkan bulan-bulan sebelumnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa jaringan Penyulang Roro berada dalam kondisi yang lebih stabil setelah dilakukan penggantian isolator post. Berkurangnya gangguan dengan durasi panjang menandakan bahwa potensi kegagalan isolasi yang sebelumnya sering memicu gangguan telah berhasil diminimalkan.

Untuk memperjelas kecenderungan tersebut, ringkasan tren gangguan jaringan setelah penggantian isolator post disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Ringkasan Tren Gangguan Jaringan Penyulang Roro

Bulan 2025	Jumlah Gangguan (kali)	Total Lama Padam (jam)	Total ENS (kWh)	Kecenderungan
September	2	4,57	3.310,68	Dampak gangguan tinggi
Oktober	3	1,38	1.200,33	Dampak gangguan menurun
November	1	1,30	1.185,48	Jaringan lebih stabil

Berdasarkan Tabel 4.8, terlihat bahwa meskipun jumlah gangguan pada bulan Oktober masih tercatat lebih banyak dibandingkan September, total lama padam dan nilai ENS mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi gangguan bukan satu-satunya indikator keandalan, melainkan durasi padam dan dampak energi tidak tersalurkan juga berperan penting dalam menilai stabilitas jaringan. Pada bulan November, penurunan jumlah gangguan yang disertai dengan durasi padam yang lebih singkat semakin mempertegas adanya peningkatan keandalan jaringan.

Tren penurunan gangguan ini dapat dikaitkan dengan penggantian isolator post yang sebelumnya mengalami penurunan kinerja akibat pengaruh tegangan lebih petir. Isolator post yang telah diganti memiliki kondisi isolasi yang lebih baik, sehingga mampu menahan tegangan operasi jaringan dan mengurangi potensi terjadinya arus bocor maupun flashover. Dengan berkurangnya gangguan yang bersumber dari kegagalan isolasi, stabilitas jaringan secara keseluruhan menjadi lebih baik.

Secara bertahap, dampak penggantian isolator post menggunakan metode PDKB tercermin pada berkurangnya gangguan dengan durasi panjang serta menurunnya nilai ENS pada periode setelah perbaikan. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan tidak hanya bersifat sementara, tetapi memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi Penyulang Roro. Dengan demikian, analisis tren gangguan pada subbab ini memperkuat hasil pembahasan sebelumnya bahwa penggantian isolator post merupakan langkah perbaikan yang efektif dalam mendukung kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

4.4 Analisis ENS sebagai Indikator Dampak Penerapan PDKB

Energi Tidak Tersalurkan atau *Energy Not Supplied* (ENS) merupakan salah satu indikator penting dalam mengevaluasi dampak gangguan maupun aktivitas pemeliharaan terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi. ENS menggambarkan besarnya energi listrik yang seharusnya diterima oleh pelanggan namun tidak dapat disalurkan akibat terjadinya padam jaringan atau pembatasan suplai dalam kurun waktu tertentu. Oleh karena itu, nilai ENS tidak hanya merepresentasikan aspek teknis sistem, tetapi juga mencerminkan tingkat keandalan pelayanan kepada pelanggan.

Dalam penelitian ini, ENS digunakan sebagai indikator utama untuk menilai dampak penerapan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. Penggunaan ENS dipilih karena indikator ini secara langsung dipengaruhi oleh durasi padam dan kondisi operasi jaringan, yang merupakan aspek utama yang ingin diminimalkan melalui penerapan metode PDKB. Semakin kecil nilai ENS yang tercatat, maka semakin kecil pula dampak gangguan atau pekerjaan terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Perlu ditegaskan bahwa nilai ENS yang digunakan dalam penelitian ini bukan merupakan hasil perhitungan ulang secara manual oleh penulis, melainkan berasal dari data gangguan jaringan dan rekapitulasi pekerjaan PDKB yang telah terdokumentasi. Data tersebut disusun berdasarkan parameter operasi jaringan yang mencakup tegangan sistem, besar beban penyulang, faktor daya, serta durasi waktu jaringan berada dalam kondisi tidak tersuplai. Dengan demikian, ENS pada penelitian ini merupakan nilai yang merepresentasikan kondisi lapangan secara aktual.

Analisis ENS pada subbab ini tidak difokuskan pada proses matematis perhitungan ENS, melainkan pada penelusuran sumber terbentuknya ENS serta interpretasi makna ENS dalam kaitannya dengan efektivitas penerapan PDKB. Pendekatan ini dilakukan untuk menunjukkan bahwa besarnya ENS sangat dipengaruhi oleh metode kerja yang digunakan pada saat pelaksanaan perbaikan jaringan. Apabila pekerjaan dilakukan dengan metode konvensional yang memerlukan pemadaman, maka durasi padam cenderung lebih lama dan nilai ENS yang dihasilkan menjadi lebih besar. Sebaliknya, dengan penerapan metode

PDKB, pekerjaan dapat dilakukan tanpa atau dengan pemadaman yang sangat minimal sehingga nilai ENS dapat ditekan.

Melalui analisis ENS, penelitian ini berupaya menunjukkan bahwa penerapan metode PDKB pada penggantian isolator post tidak hanya berdampak pada kelancaran proses pekerjaan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pengurangan energi yang tidak tersalurkan. Dengan demikian, ENS digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk menilai seberapa besar dampak teknis dari penerapan PDKB terhadap keandalan jaringan distribusi Penyulang Roro.

Subbab ini selanjutnya akan membahas sumber dan karakteristik data ENS yang digunakan, analisis perbandingan ENS pada kondisi sebelum dan sesudah penerapan PDKB, serta keterkaitan ENS dengan efektivitas metode PDKB dalam menekan dampak gangguan jaringan. Pembahasan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai peran ENS sebagai indikator kinerja teknis dalam evaluasi penerapan PDKB.

4.4.1 Sumber dan Karakteristik Data ENS pada Penyulang Roro

Energy Not Supplied (ENS) merupakan indikator yang digunakan untuk menggambarkan besarnya energi listrik yang tidak tersalurkan kepada pelanggan akibat terjadinya gangguan maupun aktivitas pekerjaan pada jaringan distribusi. Dalam penelitian ini, ENS digunakan sebagai parameter untuk menilai dampak teknis penerapan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro.

Data ENS yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari data gangguan jaringan dan rekapitulasi pekerjaan PDKB yang terdokumentasi oleh unit pengelola jaringan. Nilai ENS tersebut bukan merupakan hasil perhitungan manual oleh penulis, melainkan hasil pengolahan sistem berdasarkan parameter operasi jaringan yang tercatat pada saat gangguan atau pelaksanaan pekerjaan berlangsung. Dengan demikian, ENS yang dianalisis mencerminkan kondisi lapangan secara aktual dan dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Secara umum, pembentukan nilai ENS dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, yaitu durasi padam atau waktu offline jaringan, besar beban penyulang pada saat kejadian, serta kondisi operasi sistem distribusi. Durasi padam menjadi faktor yang paling dominan, karena semakin lama jaringan berada dalam kondisi tidak tersuplai, maka semakin besar pula energi listrik yang tidak dapat disalurkan. Sebaliknya, apabila durasi padam dapat diminimalkan, nilai ENS yang dihasilkan akan menjadi lebih kecil.

Pada penerapan metode PDKB, pekerjaan penggantian isolator post dilakukan tanpa memutus suplai utama jaringan atau dengan waktu offline yang sangat terbatas. Kondisi ini menyebabkan durasi padam jaringan dapat ditekan secara signifikan dibandingkan dengan metode pekerjaan konvensional yang memerlukan pemadaman. Akibatnya, nilai ENS yang tercatat pada pekerjaan PDKB relatif lebih kecil, meskipun pekerjaan dilakukan pada jaringan dengan beban yang tetap berjalan.

Selain durasi padam, besar beban penyulang juga memengaruhi nilai ENS yang terbentuk. Beban penyulang merepresentasikan daya listrik yang disalurkan kepada pelanggan pada saat gangguan atau pekerjaan terjadi. Pada kondisi beban yang tinggi, gangguan dengan durasi padam yang sama akan menghasilkan nilai ENS yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi beban yang rendah. Oleh karena itu, ENS menjadi indikator yang sensitif terhadap kombinasi antara waktu padam dan kondisi beban jaringan.

Karakteristik ENS pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai ENS tidak berdiri sendiri sebagai angka, melainkan merupakan representasi dari kinerja sistem distribusi secara keseluruhan. Nilai ENS yang rendah mengindikasikan bahwa gangguan atau pekerjaan dapat ditangani dengan cepat dan efektif, sehingga dampak terhadap pelanggan dapat diminimalkan. Sebaliknya, nilai ENS yang tinggi mencerminkan adanya gangguan dengan durasi padam yang panjang atau keterlambatan dalam proses penanganan jaringan.

Dengan memahami sumber dan karakteristik data ENS tersebut, analisis pada subbab selanjutnya difokuskan pada pembahasan nilai ENS yang tercatat sebelum dan sesudah penerapan metode PDKB. Pendekatan ini digunakan untuk menunjukkan peran ENS sebagai indikator kuantitatif dalam menilai efektivitas PDKB dalam menekan dampak gangguan dan meningkatkan keandalan jaringan distribusi Penyulang Roro.

4.4.2 Analisis ENS yang Ditekan melalui Penerapan Metode PDKB

Analisis pada subbab ini difokuskan pada pembahasan nilai *Energy Not Supplied* (ENS) yang dapat ditekan melalui penerapan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. ENS digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk menunjukkan besarnya energi listrik yang berpotensi tidak tersalurkan apabila pekerjaan dilakukan dengan metode konvensional yang memerlukan pemadaman jaringan.

Secara umum, ENS terbentuk sebagai akibat dari adanya selang waktu ketika jaringan berada dalam kondisi tidak tersuplai, baik karena gangguan maupun karena kegiatan pemeliharaan. Besarnya ENS dipengaruhi oleh durasi padam dan besarnya beban jaringan pada saat kejadian. Oleh karena itu, metode kerja yang mampu meminimalkan atau menghilangkan waktu padam akan berdampak langsung terhadap penurunan nilai ENS.

Secara konseptual, perhitungan ENS pada sistem distribusi tenaga listrik dapat dinyatakan dengan **persamaan 3.1** berikut :

$$ENS = P \times t$$

dengan:

- **ENS** = energi tidak tersalurkan (kWh),
- **P** = daya beban jaringan yang terputus (kW),
- **t** = lama waktu padam atau waktu offline (jam).

Rumus tersebut menunjukkan bahwa nilai ENS berbanding lurus dengan lama waktu padam dan besarnya daya beban yang tidak tersuplai. Pada penelitian ini, perhitungan ENS tidak dilakukan secara manual menggunakan rumus tersebut, karena nilai ENS telah tersedia pada data gangguan dan rekapitulasi pekerjaan PDKB. Penulisan rumus dimaksudkan untuk menunjukkan dasar perhitungan ENS serta memperjelas hubungan antara durasi pekerjaan, beban jaringan, dan besarnya energi yang tidak tersalurkan.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perbandingan Offline dan Online pada Pekerjaan Penggantian Isolator

No	Jenis Pekerjaan	Offline		Online		Saving Energy
		Durasi padam (jam)	ENS (kWh)	Durasi Padam (jam)	ENS (waktu)	
1	Penggantian Isolator Penegang	3,8	1.654,3	0	0	1.654,3
2	Penggantian Isolator Gantung Vertikal	1,7	735,3	0	0	735,3
3	Penggantian Isolator Gantung Lurus	1,8	772,0	0	0	772,0
4	Penggantian Isolator Tumpu Couple Fase R/T	1,4	625,0	0	0	625,0
5	Penggantian Isolator Tumpu Genouillère Fase R/T	1,4	625,0	0	0	625,0
6	Penggantian Isolator Mast Fase S	1,4	625,0	0	0	625,0
7	Penggantian Insulated Tie A3CS Metode Genouillère	1,4	625,0	0	0	625,0

Berdasarkan Tabel 4.9, terlihat bahwa apabila pekerjaan penggantian isolator dilakukan dengan metode offline (padam), maka durasi padam sistem berkisar antara 1,4 hingga 3,8 jam tergantung jenis pekerjaan yang dilaksanakan. Pekerjaan dengan durasi padam terlama terjadi pada penggantian isolator penegang, yaitu sebesar 3,8 jam. Sementara itu, pekerjaan penggantian isolator tumpu dan mast rata-rata memerlukan waktu padam sekitar 1,4 jam. Variasi durasi ini dipengaruhi oleh tingkat kompleksitas pekerjaan, posisi isolator pada struktur jaringan, serta kebutuhan pengamanan sebelum pekerjaan dilakukan.

Durasi padam tersebut secara langsung berdampak pada besarnya nilai Energy Not Supplied (ENS). Pada metode offline, nilai ENS yang dihasilkan berkisar antara 625,0 kWh hingga 1.654,3 kWh. Nilai tertinggi tercatat pada penggantian isolator penegang, sejalan dengan durasi padam yang paling lama. Secara matematis, hal ini sesuai dengan persamaan ENS = P × t, di mana semakin lama waktu padam, maka semakin besar energi yang tidak tersalurkan kepada pelanggan.

Apabila dianalisis lebih lanjut, nilai ENS pada setiap jenis pekerjaan menunjukkan konsistensi terhadap beban rata-rata penyulang. Dengan durasi padam 1,4 jam menghasilkan ENS sebesar 625,0 kWh, maka dapat diinterpretasikan bahwa beban terdampak berada pada kisaran ±446 kW. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan dilakukan secara sistematis dan didasarkan pada parameter beban yang relatif konstan selama periode pekerjaan.

Sebaliknya, pada metode online (PDKB), durasi padam sistem tercatat sebesar 0 jam untuk seluruh jenis pekerjaan. Hal ini menunjukkan bahwa pelaksanaan pekerjaan dilakukan dalam kondisi bertegangan tanpa menghentikan suplai tenaga listrik. Karena tidak terjadi pemadaman sistem, maka nilai ENS pada metode online secara teoritis bernilai 0 kWh. Dengan demikian, seluruh nilai ENS yang muncul pada metode offline menjadi nilai penghematan (saving) ketika pekerjaan dilakukan menggunakan PDKB.

Nilai saving ENS yang diperoleh berkisar antara 625,0 kWh hingga 1.654,3 kWh per pekerjaan. Secara kumulatif, jika seluruh pekerjaan tersebut dijumlahkan, total energi yang berhasil ditekan mencapai 5.661,6 kWh. Nilai ini menunjukkan dampak yang signifikan terhadap kontinuitas pelayanan tenaga listrik, terutama pada penyulang dengan karakteristik beban yang relatif stabil.

Secara keseluruhan, hasil analisis pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) terbukti efektif dalam menekan energi tidak tersalurkan dan menjaga kontinuitas sistem distribusi 20 kV pada Penyulang Roro. Efektivitas ini terlihat jelas dari perbandingan langsung antara metode offline dan online, di mana metode online mampu mengeliminasi nilai ENS yang sebelumnya timbul akibat pemadaman sistem.

4.4.3 Keterkaitan ENS dengan Efektivitas Penerapan Metode PDKB

Subbab ini membahas keterkaitan antara nilai *Energy Not Supplied* (ENS) dengan efektivitas penerapan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. Pembahasan difokuskan pada bagaimana penerapan PDKB mampu menekan nilai ENS melalui pengurangan waktu offline jaringan, sehingga dampak pekerjaan terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat diminimalkan.

Berdasarkan hasil analisis pada Subbab 4.4.2, diketahui bahwa nilai ENS yang tercatat pada pekerjaan penggantian isolator post menggunakan metode PDKB relatif lebih kecil dibandingkan potensi ENS yang dapat terjadi apabila pekerjaan dilakukan dengan metode konvensional. Hal ini disebabkan oleh karakteristik utama PDKB, yaitu memungkinkan pekerjaan dilakukan tanpa memutus suplai utama jaringan atau dengan waktu offline yang sangat terbatas. Dengan demikian, hubungan antara ENS dan PDKB bersifat langsung, di mana semakin efektif penerapan PDKB dalam menekan waktu offline, maka semakin kecil pula nilai ENS yang dihasilkan.

Secara teknis, ENS berbanding lurus dengan durasi padam dan besarnya beban jaringan yang tidak tersuplai. Pada pekerjaan penggantian isolator post, metode konvensional umumnya memerlukan pemadaman jaringan selama proses pelepasan dan pemasangan isolator, yang berpotensi menyebabkan ENS dalam jumlah besar. Sebaliknya, penerapan PDKB memungkinkan proses penggantian dilakukan pada kondisi jaringan tetap bertegangan, sehingga energi listrik tetap tersalurkan kepada pelanggan selama pekerjaan berlangsung. Kondisi ini secara langsung menurunkan potensi energi yang tidak tersalurkan.

Untuk memperjelas keterkaitan tersebut, ringkasan hubungan antara metode kerja, waktu offline, dan nilai ENS pada pekerjaan penggantian isolator disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hubungan Metode PDKB dengan Penekanan Nilai ENS pada Pekerjaan Penggantian Isolator

Metode Kerja	**Kondisi Jaringan**	**Waktu Offline**	**Dampak terhadap ENS**
Metode Konvensional (padam)	Tidak bertegangan	Lama	ENS berpotensi besar
PDKB	Bertegangan	Sangat singkat / minimal	ENS dapat ditekan

Berdasarkan Tabel 4.10, terlihat bahwa penerapan metode PDKB memberikan keuntungan utama berupa pengurangan waktu offline jaringan secara signifikan. Pengurangan waktu offline ini berdampak langsung pada penurunan nilai ENS, karena energi listrik tetap dapat disalurkan selama pekerjaan berlangsung. Dengan demikian, ENS dapat digunakan sebagai indikator yang representatif untuk menilai efektivitas metode PDKB dalam menjaga kontinuitas suplai tenaga listrik.

Selain itu, nilai *saving* ENS yang tercatat pada pekerjaan penggantian isolator post menunjukkan bahwa metode PDKB tidak hanya efektif secara operasional, tetapi juga memberikan manfaat teknis terhadap keandalan jaringan. Energi yang berhasil tetap disalurkan kepada pelanggan mencerminkan berkurangnya dampak gangguan akibat pekerjaan pemeliharaan. Hal ini menjadi penting terutama pada jaringan distribusi dengan tingkat beban yang relatif tinggi, seperti Penyulang Roro, di mana pemadaman jaringan dapat berdampak luas terhadap pelanggan.

Secara keseluruhan, keterkaitan antara ENS dan efektivitas PDKB pada penelitian ini menunjukkan bahwa PDKB merupakan metode kerja yang mampu menekan dampak energi tidak tersalurkan secara signifikan. Nilai ENS yang lebih kecil menjadi bukti bahwa penerapan PDKB berkontribusi langsung terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi, khususnya pada pekerjaan penggantian isolator post. Hasil analisis ini menjadi dasar yang kuat untuk pembahasan lebih lanjut mengenai efektivitas prosedur PDKB pada subbab berikutnya.

4.5 Efektivitas Prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

Subbab ini membahas efektivitas prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro berdasarkan hasil analisis yang telah disajikan pada subbab sebelumnya. Pembahasan difokuskan pada interpretasi hasil, keterkaitan antarindikator teknis, serta implikasi penerapan PDKB terhadap keandalan jaringan, tanpa mengulang kembali penyajian data numerik.

Berdasarkan hasil perbandingan ketahanan isolasi pada Subbab 4.2, diketahui bahwa isolator post yang mengalami kerusakan akibat tegangan lebih petir menunjukkan penurunan kemampuan isolasi yang berpotensi memicu gangguan berulang pada jaringan. Penggantian isolator menggunakan metode PDKB menghasilkan kondisi isolasi yang lebih baik dan stabil, sehingga potensi terjadinya gangguan akibat kegagalan isolasi dapat dikurangi. Hal ini menunjukkan bahwa PDKB tidak hanya berfungsi sebagai metode kerja tanpa padam, tetapi juga mendukung kualitas teknis hasil pekerjaan.

Dari sisi keandalan jaringan, hasil analisis gangguan sebelum dan sesudah penerapan PDKB pada Subbab 4.3 menunjukkan adanya tren penurunan dampak gangguan jaringan. Meskipun gangguan masih dapat terjadi akibat faktor eksternal, seperti kondisi lingkungan dan cuaca, penerapan PDKB berkontribusi dalam mengurangi durasi padam dan mempercepat penanganan gangguan. Dengan demikian, PDKB berperan dalam menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik, terutama pada penyulang dengan tingkat kepadatan beban yang relatif tinggi.

Efektivitas prosedur PDKB juga tercermin dari hasil analisis ENS pada Subbab 4.4. Nilai ENS yang tercatat pada pekerjaan penggantian isolator post menunjukkan bahwa energi listrik yang tidak tersalurkan dapat ditekan secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik utama PDKB yang memungkinkan pekerjaan dilakukan pada kondisi jaringan tetap bertegangan, sehingga waktu offline dapat diminimalkan. Dengan berkurangnya waktu offline, energi listrik tetap dapat disalurkan kepada pelanggan selama pekerjaan berlangsung, yang pada akhirnya menurunkan dampak energi tidak tersalurkan.

Secara prosedural, penerapan PDKB menuntut perencanaan pekerjaan yang lebih matang, penggunaan peralatan khusus, serta kompetensi petugas yang memadai. Namun, hasil pembahasan menunjukkan bahwa kompleksitas tersebut sebanding dengan manfaat teknis yang diperoleh. PDKB terbukti mampu menekan dampak gangguan, mengurangi potensi ENS yang besar, serta meningkatkan keandalan jaringan tanpa harus mengorbankan kontinuitas pelayanan kepada pelanggan.

Selain itu, penerapan PDKB pada penggantian isolator post juga memberikan nilai tambah dari sisi operasional. Pekerjaan dapat dilakukan tanpa menjadwalkan pemadaman jaringan yang berpotensi mengganggu pelanggan, sehingga kualitas pelayanan listrik dapat tetap terjaga. Kondisi ini menjadi penting terutama pada penyulang yang melayani pelanggan dengan kebutuhan kontinuitas suplai yang tinggi.

Secara keseluruhan, pembahasan pada subbab ini menunjukkan bahwa prosedur PDKB merupakan metode kerja yang efektif dan relevan untuk diterapkan pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro. Efektivitas tersebut ditunjukkan melalui peningkatan kondisi isolasi, penurunan dampak gangguan jaringan, serta kemampuan menekan nilai ENS. Dengan demikian, PDKB dapat dipandang sebagai solusi teknis yang mendukung peningkatan keandalan jaringan distribusi dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV mengenai efektivitas prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penggantian isolator post akibat tegangan lebih petir di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengujian dan observasi lapangan, isolator post sebelum penggantian menunjukkan penurunan ketahanan isolasi dengan nilai tahanan terukur sebesar ±200 MΩ. Kondisi ini mengindikasikan adanya degradasi akibat pengaruh surja petir dan faktor lingkungan, yang berpotensi meningkatkan risiko gangguan jaringan. Setelah dilakukan penggantian isolator, nilai tahanan isolasi meningkat signifikan menjadi ±210 GΩ, menunjukkan bahwa kondisi isolasi kembali dalam keadaan optimal dan mampu menahan tegangan impuls sesuai standar operasional jaringan distribusi 20 kV.
2. Pelaksanaan penggantian isolator menggunakan metode PDKB dilakukan tanpa pemadaman jaringan, dengan tetap memperhatikan prosedur keselamatan kerja serta penggunaan peralatan khusus seperti insulated tie dan metode kerja Genouillère. Secara teknis, metode ini memungkinkan pekerjaan dilakukan dalam kondisi bertegangan tanpa mengganggu kontinuitas suplai tenaga listrik kepada pelanggan.
3. Dari sisi efektivitas operasional, apabila pekerjaan dilakukan dengan metode offline (padam), durasi padam berkisar antara 1,4 hingga 3,8 jam, yang menghasilkan nilai Energy Not Supplied (ENS) antara 625,0 kWh hingga 1.654,3 kWh per pekerjaan. Dengan penerapan metode PDKB, durasi padam sistem menjadi 0 jam dan nilai ENS menjadi 0 kWh. Total saving ENS yang diperoleh dari seluruh pekerjaan mencapai 5.661,6 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa metode PDKB efektif dalam meningkatkan kontinuitas pelayanan dan menekan energi tidak tersalurkan pada Penyulang Roro.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) disarankan untuk terus diterapkan pada penggantian isolator post di jaringan distribusi 20 kV Penyulang Roro, khususnya pada penyulang dengan tingkat gangguan dan beban yang tinggi, karena terbukti mampu menekan durasi padam dan nilai *Energy Not Supplied* (ENS).
2. Diperlukan pencatatan dan pendataan teknis yang lebih konsisten terkait durasi pekerjaan, kondisi beban jaringan, serta nilai ENS pada setiap pelaksanaan PDKB, agar evaluasi efektivitas metode kerja dapat dilakukan secara lebih akurat dan terukur.
3. Pemantauan berkala terhadap kondisi isolator post yang telah diganti perlu dilakukan, terutama pada lokasi dengan tingkat paparan petir yang tinggi, guna menjaga kinerja isolasi tetap optimal dan meminimalkan potensi gangguan berulang.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Syamsir Abduh, *Teknik Tegangan Tinggi: Dasar Pembangkitan dan Pengukuran* . Jakarta: Salemba Teknika, 2001. Accessed: Jan. 02, 2025. [Online]. Available: https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=11247

[2] P. Central Station Engineers of the Wetinghouse Electric Corporation, *Electric Transmission and Distribution Reference Book*. Calcutta: Oxford and IBH Publishing Company, 1950.

[3] T. Pembina *et al.*, "Penyusun : Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik disusun oleh : Kelompok Kerja Standar Kontruksi Jaringan Disribusi Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia."

[4] S. N. Mansyur, A. F. Fahrul, M. Nawir, A. Jaya, and S. Syamsir, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi PT. PLN (PERSERO) ULP Panakkukang," *Jurnal LOGITECH Logika Technology*, vol. 8, no. 1, Mar. 2025, doi: 10.64109/7c5hyy96.

[5] M. Massikki, F. Firdaus, and I. Putri Angrini, "PENGARUH PEMELIHARAAN JARINGAN DISTRIBUSI SALURAN UDARA TEGANGAN TERHADAP KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI DI WILAYAH PT. PLN (PERSERO) ULP KALUMPANG AREA BULUKUMBA," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 19, no. 2, pp. 92–100, Apr. 2022, doi: 10.59562/metrik.v19i2.5455.

[6] R. A. Y. Yani, D. E. P. Dian, R. E. S. Edy, and J. A. Jimmi, "Penggunaan Arrester Sebagai Pengaman Gardu Distribusi 20 KV Pada Trasformator 160 KVA di Penyulang Akasia," *Jurnal Ampere*, vol. 9, no. 2, pp. 141–149, Dec. 2024, doi: 10.31851/ampere.v9i2.16753.

[7] P. Mangera and J. Jayadi, "ANALISIS RUGI TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG KOMPI C PT.PLN (Persero) UP3 MERAUKE," *MUSTEK ANIM HA*, vol. 12, no. 01, pp. 56–63, Jul. 2023, doi: 10.35724/mustek.v12i01.5386.

[8] M. Septiani and D. Aribowo, “Analisis Pemasangan Arrester Pada jaringan SUTM P. Dewasa untuk Pengurangan Dampak Petir PT. PLN (Persero) UP3 CIKUPA,” *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, vol. 14, no. 2, pp. 120–124, Oct. 2024, doi: 10.33369/jamplifier.v14i2.37285.

[9] J. Trunojoyo Blok M-, K. Baru, L. Surat, and P. Direksi, “PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) Peralatan Tegangan Menengah PT PLN (PERSERO).”

[10] Masutiah Susilowati, “PENGELOLAAN SERTIFIKASI TIM PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PT PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO) UNIT INDUK DISTRIBUSI BANTEN,” vol. 5, pp. 2736–2752, Nov. 2023, doi: 10.46799/syntax-idea.v5i12.2632.

[11] N. M. Mugandi, “Pemeliharaan Jaringan Distribusi SUTM 20 kV (Penyulang Mawar) Di PT. PLN ULP Kampar,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, vol. 2, no. 2, pp. 85–95, Dec. 2022, doi: 10.57152/ijeere.v2i2.448.

[12] F. N. Fanni, “Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Panam Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA),” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, vol. 2, no. 2, Dec. 2022, doi: 10.57152/ijeere.v2i2.468.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Mahasiswa	: Eko Sumedi
Program Studi	: D-III Teknologi Listrik
NIM	202371600
Tempat, tanggal lahir	: Seleman Ilir, 10 Juni
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
No HP	08124567890
Email	: ekosumedi91@gmail.com
Alamat Rumah	: Desa Seleman Ilir
Pendidikan	
SD	: SDN 013 Lahat.....tahun lulus 2004
SMP	: SMPN 02 Muara Pinang.....tahun lulus 2007
SMA	: SMKN 01 Lahat ..... tahun lulus 2010
Diploma III	: -
Sarjana	: -

Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 14 Oktober 2025

Eko Sumandi

Cek Turnitin :

TURNITIN BAB 1-3_PROPOSAL_TUGAS_AKHIR_EKO SUMEDI.pdf

ORIGINALITY REPORT

23%	20%	7%	10%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to STT PLN Student Paper	4%
2	journal.irpi.or.id Internet Source	3%
3	ejournal.unmus.ac.id Internet Source	2%
4	garuda.kemdikbud.go.id Internet Source	1%
5	repository.um-palembang.ac.id Internet Source	1%
6	repositori.unsil.ac.id Internet Source	1%
7	jurnal.syntax-idea.co.id Internet Source	1%
8	text-id.123dok.com Internet Source	1%
9	123dok.com Internet Source	1%
10	sinta.unud.ac.id Internet Source	<1%
11	repository.its.ac.id Internet Source	<1%
12	www.ejournal.unmus.ac.id Internet Source	<1%
13	docplayer.info Internet Source	<1%
14	berita.news Internet Source	<1%
15	id.123dok.com Internet Source	<1%

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan Tugas Akhir

INSTITUT TEKNOLOGI PLN

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Eko Sumedi

NIM 202371600

Program Studi : D-III Teknologi Listrik

Fakultas : Sekolah Vokasi

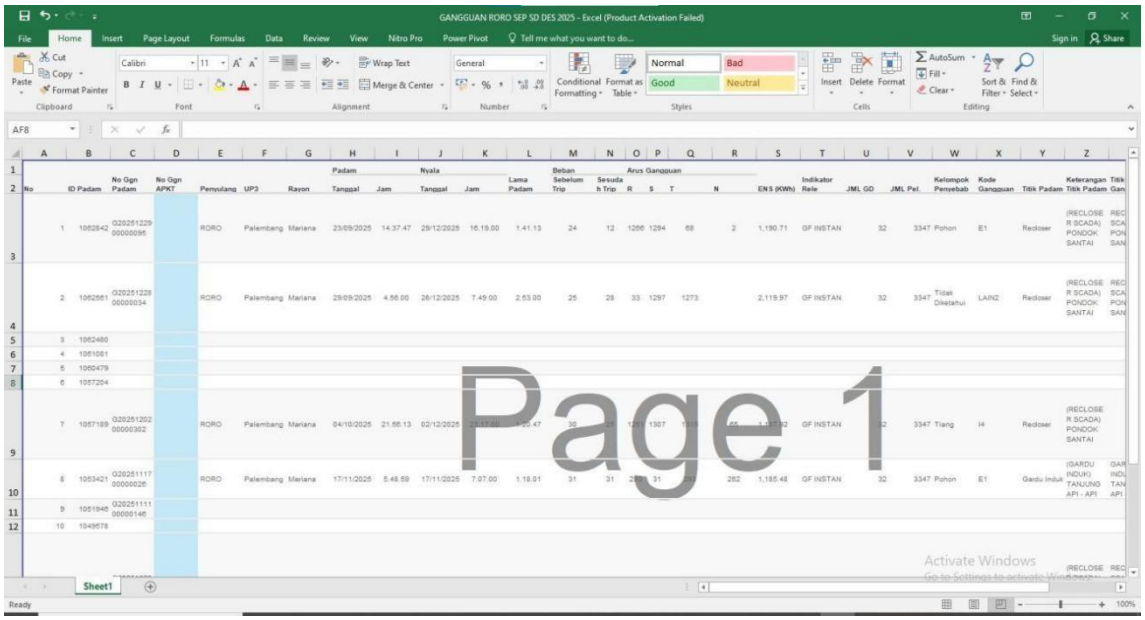
Pembimbing Utama : Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.

Judul Tugas Akhir : Efektivitas Prosedur Perkerjaan Dalam Keadaan Bertentangan (PDKB) Pada Penggantian Isolator Post Akibat Tegangan Lebih Petir Dijaringan 20KV Penyulang Roro

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Bimbingan
05 September 2025	Konsultasi awal tugas akhir, penentuan judul dan ruang lingkup	
20 September 2025	Penyusunan Bab I (Pendahuluan)	
10 Oktober 2025	Penyusunan Bab II (Landasan Teori)	
30 Oktober 2025	Penyusunan Bab III (Metode Penelitian)	
20 November 2025	Pengumpulan data penelitian	

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Bimbingan
10 Desember 2025	Penyusunan Bab IV (Hasil dan Pembahasan)	
05 Januari 2026	Penyusunan Bab V (Kesimpulan dan Saran)	
23 Januari 2026	Bimbingan revisi Bab IV dan perapihan penulisan	
31 Januari 2026	Finalisasi dokumen TA dan persiapan sidang	

Lampiran 2 Data Sheet Gangguan Penyulang Roro



No	ID Padam	No Ggn Padam	No Ggn APKT	Penyulang	UP3	Rayon	Padam Tanggal	Padam Jam	Nyala Tanggal	Nyala Jam	Lama Padam	Beban Sebelum Trip	Beban Sesudah Trip	Arus Gangguan R	Arus Gangguan S	Arus Gangguan T	Arus Gangguan N	ENS (KWh)	Indikator Rele	JML GD	JML Pel.	Kelompok Penyebab	Kode Gangguan	Titik Padam	Keterangan Titik Padam	Titik Gan
1	1062842	G20251229 00000095		RORO	Palembang	Mariana	23/09/2025	14:37:47	29/12/2025	16:19:00	1.41.13	24	12	1266	1294	68	2	1,190.71	GF INSTAN	32	3347	Pohon	E1	Recloser	(RECLOSER SCADA) PONDOK SANTAI	REC SCA PON SAN
2	1062861	G20251228 00000034		RORO	Palembang	Mariana	29/09/2025	4:56:00	26/12/2025	7:49:00	2:53:00	25	28	33	1297	1273		2,119.97	GF INSTAN	32	3347	Tidak Diketahui	LAIN2	Recloser	(RECLOSER SCADA) PONDOK SANTAI	REC SCA PON SAN
3	1062480																									
4	1061081																									
5	1060479																									
6	1057204																									
7	1057189	G20251202 00000302		RORO	Palembang	Mariana	04/10/2025	21:56:13	02/12/2025	[illegible]	[illegible]	30	[illegible]	[illegible]	1307	[illegible]	[illegible]	[illegible]	GF INSTAN	[illegible]	3347	Tiang	I4	Recloser	(RECLOSER SCADA) PONDOK SANTAI	
8	1053421	G20251117 00000026		RORO	Palembang	Mariana	17/11/2025	5:48:59	17/11/2025	7:07:00	1.18.01	31	31	[illegible]	31	[illegible]	282	1,185.48	GF INSTAN	32	3347	Pohon	E1	Gardu Induk	(GARDU INDUK) TANJUNG API - API	GAR INDU TAN API
9	1051946	G20251111 00000146																								
10	1049578																									

Page 1

© 2025 RA. IIS SUCI NUR INDAH S.K — Hak Cipta Dilindungi Nomor Pencatatan: EC002025158354 Judul: Sistem Otomatis Pengisian Nilai Sidang Mahasiswa Berbasis Microsoft Excel

Formulir 6

INSTITUT TEKNOLOGI PLN	**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **24 Februari 2026**
Nama mahasiswa : **Eko Sumedi**
NIM : **202371600**
Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
Sekolah : **Sekolah Vokasi**
Judul Tugas Akhir : **Efektivitas Prosedur Perkerjaan Dalam Keadaan Bertentangan (Pdkb) Pada Penggantian Isolator Post Akibat**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

.....

.....

sesuai arahan saat sidang (lihat catatan di laporan)

.....

.....

.....

.....

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

28 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa | **Ketua Penguji**

Eko Sumedi | **Kartiria, S.T., M.T.**

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal .....

Mahasiswa | **Ketua Penguji**

Eko Sumedi | **Kartiria, S.T., M.T.**

© 2025 RA. IIS SUCI NUR INDAH S.K — Hak Cipta Dilindungi Nomor Pencatatan: EC002025158354 Judul: Sistem Otomatis Pengisian Nilai Sidang Mahasiswa Berbasis Microsoft Excel

Formulir 7

INSTITUT TEKNOLOGI PLN	**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **24 Februari 2026**
Nama mahasiswa : **Eko Sumedi**
NIM : **202371600**
Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
Sekolah : **Sekolah Vokasi**
Judul Tugas Akhir : **Efektivitas Prosedur Perkerjaan Dalam Keadaan Bertentangan (Pdkb) Pada Penggantian Isolator Post Akibat**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Tambahkan data tahanan isolasi & foto isolator sebelum dan sesudah pergantian
2. Di bab 4 awal, tambahkan data pengamatan jenis pekerjaan dan waktu pekerjaan ketika terjadi pemadaman
3. Tebal 4.8 diperbaiki sehingga mudah terbaca perbandingan metode padam dan pdkb nya (contoh di buku PA nya)
4. dan lain-lain catatan saat sidang

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

28 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa

Eko Sumedi

Anggota Penguji

Dr. Ir. Retno Aita Diantari, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal .....

Mahasiswa

Eko Sumedi

Anggota Penguji

Dr. Ir. Retno Aita Diantari, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

© 2025 RA. IIS SUCI NUR INDAH S.K — Hak Cipta Dilindungi Nomor Pencatatan: EC002025158354 Judul: Sistem Otomatis Pengisian Nilai Sidang Mahasiswa Berbasis Microsoft Excel

Formulir 8

INSTITUT TEKNOLOGI PLN	**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **24 Februari 2026**
Nama mahasiswa : **Eko Sumedi**
NIM : **202371600**
Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
Sekolah : **Sekolah Vokasi**
Judul Tugas Akhir : **Efektivitas Prosedur Perkerjaan Dalam Keadaan Bertentangan (Pdkb) Pada Penggantian Isolator Post Akibat**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

28 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa | **Dosen Pembimbing**

Eko Sumedi | **Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.**

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal 28 Feb 2026

Mahasiswa | **Dosen Pembimbing**

Eko Sumedi | **Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.**

© 2025 RA. IIS SUCI NUR INDAH S.K — Hak Cipta Dilindungi Nomor Pencatatan: EC002025158354 Judul: Sistem Otomatis Pengisian Nilai Sidang Mahasiswa Berbasis Microsoft Excel

Formulir 9

INSTITUT TEKNOLOGI PLN	**INSTITUT TEKNOLOGI PLN**	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-011
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

RINGKASAN PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **24 Februari 2026**
Nama mahasiswa : **Eko Sumedi**
NIM : **202371600**
Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
Sekolah : **Sekolah Vokasi**
Judul Tugas Akhir : **Efektivitas Prosedur Perkerjaan Dalam Keadaan Bertentangan (Pdkb) Pada Penggantian Isolator Post Akibat**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

Lihat catatan para dosen penguji dan pembimbing

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

28 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa	**Dosen Pembimbing**	**Ketua Penguji**
Eko Sumedi	**Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.**	**Kartiria, S.T., M.T.**

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal .....

Mahasiswa	**Dosen Pembimbing**	**Ketua Penguji**
Eko Sumedi	**Sofitri Rahayu, S.Pd., M.Eng.**	**Kartiria, S.T., M.T.**