

**ANALISIS PERHITUNGAN ENERGI TERSELAMATKAN PADA
PEKERJAAN PENGGANTIAN INSULATOR PASCA GANGGUAN DI
SUTT 150 KV SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
UNTUK MEMPEROLEH GELAR SARJANA (S1) PADA PROGRAM STUDI
TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS
ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG



Disusun Oleh:

KURNIAWAN MUHAMMAD AZIZ

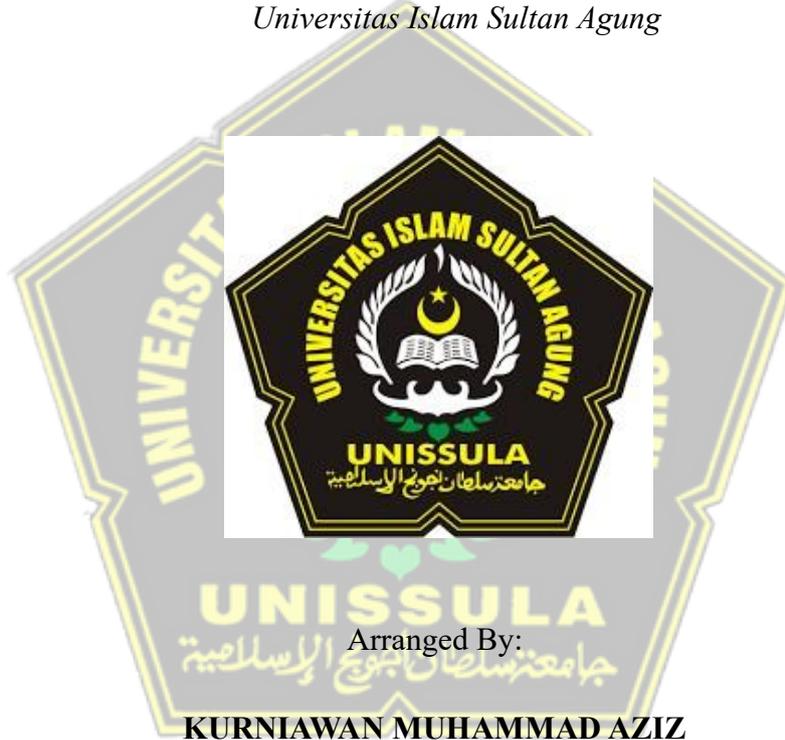
NIM. 30602200179

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

2024

FINAL PROJECT
ANALYSIS OF SAVED ENERGY CALCULATION FOR POST
DISTURBANCE INSULATOR REPLACEMENT WORK ON THE 150 KV
HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINE IN THE KALIMANTAN
INTERCONNECTED SYSTEM

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (SI) at
Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By:

KURNIAWAN MUHAMMAD AZIZ

NIM. 30602200179

MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PERHITUNGAN ENERGI TERSELAMATKAN PADA PEKERJAAN PENGGANTIAN INSULATOR PASCA GANGGUAN DI SUTT 150 KV SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN” ini disusun oleh:

Nama : Kurniawan Muhammad Aziz

NIM : 30602200179

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 4 Desember 2024

Mengetahui,

Pembimbing

Ketua Program Studi Teknik Elektro



410225

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.

NIDN. 0619076401

Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T

NIK.210615047

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PERHITUNGAN ENERGI TERSELAMATKAN PADA PEKERJAAN PENGGANTIAN INSULATOR PASCA GANGGUAN DI SUTT 150 KV SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN” ini telah dipertahankan di depan Penguji siding Tugas Akhir pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 24 Januari 2025

TIM PENGUJI

Anggota I

Anggota II


Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.

NIDN. 0618066301


Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.

NIDN. 0619076401

Ketua Penguji


Agus Suprajitno, ST., MT.

NIDN. 0602047301

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kurniawan Muhammad Aziz
NIM : 30602200179
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISIS PERHITUNGAN ENERGI TERSELAMATKAN PADA PEKERJAAN PENGGANTIAN INSULATOR PASCA GANGGUAN DI SUTT 150 KV SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam tugas akhir ini adalah tanggung jawab saya.

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

Banjarbaru, 11 November 2024

Yang Menyatakan,



Kurniawan Muhammad Aziz

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa dan atas dukungan serta doa dari kedua orang tua tercinta, sehingga tugas akhir ini dapat dirampungkan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya ucapkan rasa syukur dan terima kasih saya kepada:

1. Tuhan YME, puji syukur yang tak terhingga atas karunia dan ridhoNya, sehingga tugas akhir ini dapat dibuat dan selesai tepat pada waktunya.
2. Kedua orang tua tersayang yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil serta doa yang tiada henti sehingga segala proses dapat terlewati dengan lancar dan terselesaikan dengan baik.
3. Bapak dan Ibu Dosen pembimbing, penguji, pengajar serta seluruh civitas academica Universitas Islam Sultan Agung, yang selama ini telah tulus dan ikhlas memberikan waktunya untuk menuntun, membimbing, mengarahkan serta memberikan pelajaran yang begitu berharga dengan harapan pribadi saya bisa menjadi lebih baik.
4. Sahabat dan teman-teman seperjuangan, yang selalu memberikan semangat, bantuan dan dukungan. Terima kasih untuk canda, tawa, tangis dan cinta dalam proses perjuangan yang telah kita lewati bersama. Semoga kita semua dipermudah urusannya dan bisa mencapai puncak kesuksesan masing-masing, Aamiin.

HALAMAN MOTTO

“Aku Berpikir, maka aku ada.”

-Rene Descartes (1596 – 1650)

“Kemarin aku merasa pintar, oleh karena itu aku ingin mengubah dunia. Tapi hari ini aku lebih bijak, oleh karena itu aku mengubah diriku sendiri”

-Jalaluddin Rumi (1207-1273)

“Semua yang kita dengar adalah pendapat, bukan fakta. Semua yang kita lihat adalah perspektif, bukan kebenaran”

-Marcus Aurelius (121-180)

“Jangan jelaskan dirimu kepada siapapun, karena yang mencintaimu tidak butuh itu, dan yang membencimu tidak percaya itu”

-Ali bin Abi Thalib (600-661)

“It always seems impossible until it's done”

-Nelson Mandela (1918-2013)

“Hal tersulit adalah keputusan untuk bertindak, selebihnya hanya kegigihan”

-Amelia Earhart (1897–1937)

“Perjalanan seribu mill dimulai dengan satu langkah”

-Lao Tzu (6 SM – 5 SM)

“Hiduplah seolah-olah kamu akan mati besok. Belajarlah seolah-olah kamu akan hidup selamanya”

- Mahatma Gandhi (1869-1948)

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING..... | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI..... | iv |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | v |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH..... | vi |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vii |
| HALAMAN MOTTO | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| ABSTRAK..... | xiii |
| <i>ABSTRACT</i> | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Pembatasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan..... | 3 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI..... | 4 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 4 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 7 |
| 2.2.1 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)..... | 7 |
| 2.2.2 Metode Pekerjaan PDKB | 8 |
| 2.2.3 <i>Transmission Service Agreement</i> (TSA) | 9 |
| 2.2.5 Perhitungan Energi Listrik (MVAh) Terselamatkan | 12 |
| 2.2.6 Perhitungan Nilai Rupiah Terselamatkan..... | 13 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 14 |
| 3.1 Model <i>Single Line Diagram</i> Sistem Interkoneksi Kalimantan | 14 |
| 3.2 Pendekatan Penelitian | 15 |
| 3.3 Sumber Data dan Data Penelitian | 15 |

| | | |
|-------------------------------|--|----|
| 3.4 | Teknik Pengumpulan Data | 15 |
| 3.5 | Tahapan Penelitian | 16 |
| 3.6 | Teknik Analisa Data | 17 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN | | 19 |
| 4.1 | Tata Kelola Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) | 19 |
| 4.2 | Variabel Perhitungan Energi Terselamatkan | 24 |
| 4.3 | Data Pekerjaan PDKB Tahun 2024 | 27 |
| 4.4 | Perhitungan Energi Terselamatkan..... | 28 |
| 4.5 | Perhitungan Rupiah Terselamatkan (<i>Gain saving</i>)..... | 32 |
| 4.6 | Data Pekerjaan ULTG Tahun 2024 | 34 |
| 4.7 | Perbandingan Dampak Pekerjaan PDKB dengan Pekerjaan <i>Offline</i> ... | 38 |
| BAB V KESIMPULAN..... | | 39 |
| 5.1 | Kesimpulan | 39 |
| 5.2 | Saran..... | 40 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 41 |
| LAMPIRAN..... | | 43 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1 Pekerjaan dalam Kondisi Bertegangan | 1 |
| Gambar 2.1 Pemeliharaan Isolator secara PDKB dengan Metode <i>Barehand</i> | 8 |
| Gambar 2.2 Pemeliharaan Isolator secara PDKB dengan Metode <i>Hotstick</i> | 9 |
| Gambar 2.3 Komponen Sistem Tenaga Listrik | 9 |
| Gambar 2.4 Model Pasar <i>Single Buyer</i> | 10 |
| Gambar 2.5 Pola Transaksi <i>Single Buyer</i> | 11 |
| Gambar 3.1 <i>Single line diagram</i> Sistem Interkoneksi Kalimantan..... | 14 |
| Gambar 3.2 Titik penggantian insulator pasca gangguan secara PDKB..... | 14 |
| Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian..... | 17 |
| Gambar 4.1 <i>Cutout Tool</i> | 20 |
| Gambar 4.2 <i>Ratchet Wrench</i> | 20 |
| Gambar 4.3 <i>Cotter Key Pusher</i> | 21 |
| Gambar 4.4 <i>Cotter Key Puller</i> | 21 |
| Gambar 4.5 <i>Clear Vision Mirror</i> | 21 |
| Gambar 4.6 <i>Informasi Disable AR</i> | 23 |
| Gambar 4.7 <i>Informasi Enable AR</i> | 23 |
| Gambar 4.8 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Interkoneksi | 27 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya..... | 6 |
| Tabel 4.1 Data Lokasi Pekerjaan PDKB Transmisi Tahun 2024 | 28 |
| Tabel 4.2 Data Parameter Pekerjaan PDKB Transmisi Tahun 2024 | 28 |
| Tabel 4.3 Energi Terselamatkan pada Pekerjaan PDKB Tahun 2024 | 32 |
| Tabel 4.4 Energi Terselamatkan Pekerjaan PDKB Transmisi | 34 |
| Tabel 4.5 Data Pekerjaan ULTG Periode Oktober 2024 | 34 |
| Tabel 4.6 Data Parameter Pekerjaan ULTG Periode Oktober 2024..... | 35 |
| Tabel 4.7 <i>Energi Not Served</i> (ENS) Pekerjaan Offline Periode Oktober 2024..... | 37 |
| Tabel 4.8 Perbandingan Dampak Pemeliharaan secara PDKB dan <i>Offline</i> | 38 |



ABSTRAK

Listrik merupakan sumber energi vital bagi kehidupan masyarakat. Penelitian ini mengidentifikasi beberapa masalah utama yang perlu diatasi, antara lain adanya banyak temuan anomali dengan tingkat prioritas P1 yang memerlukan perbaikan segera, kondisi topografi konfigurasi sistem interkoneksi dimana 57% masih menggunakan sistem radial, dan banyaknya konsumen premium tegangan tinggi yang terkoneksi langsung pada sistem. Pada umumnya pemeliharaan saluran transmisi dilakukan secara *offline*, akan tetapi pemeliharaan secara *offline* menyebabkan energi tidak tersalurkan / *energy not served* (ENS) yang mengakibatkan kerugian finansial, sehingga pemeliharaan secara *offline* sulit untuk dilakukan. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini menawarkan solusi pemeliharaan dengan metode PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) yang bersifat *sustainable* dan *continuously* dimana pemeliharaan dapat dilakukan tanpa memadamkan aliran listrik, sehingga listrik dapat terus dialirkan secara stabil dan kontinyu. Metode ini memungkinkan penyelamatan energi yang berpotensi hilang akibat pemeliharaan *offline*, yang berdampak pada penghematan biaya dan peningkatan pendapatan perusahaan. Penelitian ini menganalisis energi yang terselamatkan pada penggantian insulator SUTT 150 kV pasca gangguan di Sistem Interkoneksi Kalimantan, dengan parameter perhitungan seperti tegangan, arus, durasi waktu pekerjaan, dan harga berdasarkan *Transmission Service Agreement* (TSA). Analisis dilakukan pada pekerjaan *online* (PDKB) dan *offline* untuk mengetahui dampaknya terhadap kinerja ENS, energi yang hilang, dan pendapatan perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode PDKB memiliki ENS sebesar 0 MWh, sedangkan metode *offline* memiliki ENS sebesar 5.352,36 MWh. Pekerjaan PDKB menyelamatkan energi sebesar 4.635 MWh atau setara dengan 163.087.110 rupiah, sedangkan pekerjaan *offline* mengakibatkan kerugian sebesar 322.479.690 rupiah.

Kata Kunci: *Anomali Transmisi, Sistem Radial, PDKB, Energi Terselamatkan*

ABSTRACT

Electricity is a vital source of energy for the community. This study identifies several key issues that need to be addressed, including the presence of many anomalies with P1 priority levels requiring immediate repair; the topographical condition of the interconnection system configuration where 57% still use a radial system, and the numerous high-voltage premium consumers directly connected to the system. Generally, transmission line maintenance is conducted offline; however, offline maintenance causes energy not served (ENS), leading to financial losses, making offline maintenance difficult to carry out. To address these issues, this study proposes a maintenance solution using the PDKB (Live-Line Working) method, which is sustainable and continuous. Maintenance can be performed without shutting down the electricity flow, allowing electricity to be continuously and stably supplied. This method allows for the conservation of energy potentially lost due to offline maintenance, which results in cost savings and increased company revenue. The study analyzes the energy saved during the replacement of 150 kV transmission line insulators post-disturbance in the Kalimantan interconnection system, using calculation parameters such as voltage, current, job duration, and price based on the Transmission Service Agreement (TSA). The analysis was conducted on both online (PDKB) and offline maintenance to determine their impact on ENS performance, lost energy, and company revenue. The results showed that the PDKB method had ENS of 0 MWh, while the offline method had ENS of 5,352.36 MWh. The PDKB work saved 4,635 MWh of energy, equivalent to IDR 163,087,110, whereas the offline work resulted in a loss of IDR 322,479,690.

Keywords: *Transmission Anomaly, Radial System, PDKB, Energy Saved*

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat vital bagi kehidupan masyarakat. Sistem tenaga listrik dibangkitkan melalui pembangkit listrik, selanjutnya di transmisikan melalui gardu induk dan saluran udara tegangan tinggi / ekstra tinggi (SUTT/SUTET), kemudian didistribusikan kepada pelanggan melalui saluran udara tegangan menengah/rendah (SUTM/SUTR). Keandalan sistem tenaga listrik sangat penting untuk memastikan energi listrik dapat disalurkan secara stabil dan kontinyu.

UPT Banjarbaru memiliki banyak temuan *anomaly* jaringan transmisi yang memiliki prioritas atas (P1) dan harus segera dilakukan pemeliharaan. Pemeliharaan pada jaringan transmisi 150 KV secara umum harus dilakukan secara *offline* oleh unit layanan transmisi dan gardu induk (ULTG) selaku pemilik aset, sehingga pemeliharaan pada beberapa jaringan transmisi harus dilakukan dengan memadamkan penghantar. Akibatnya, energi listrik yang seharusnya dapat disalurkan kepada konsumen menjadi tidak tersalurkan. Kondisi ini membuat energi yang seharusnya terjual pada konsumen menjadi hilang dan tidak terjual sehingga mengakibatkan kerugian secara finansial pada perusahaan. Disisi lain, 57% aset transmisi PT. PLN (Persero) UIP3B Kalimantan masih menggunakan sistem radial. Sehingga pekerjaan secara *offline* memiliki risiko tinggi akan terjadinya *blackout* meluas.



Gambar 1.1 Pekerjaan dalam Kondisi Bertegangan

Oleh sebab itu pemeliharaan sistem transmisi menggunakan metode *live line maintenance* menjadi penting untuk diterapkan. Dengan pekerjaan dalam kondisi bertegangan (PDKB) maka pemeliharaan dapat dilakukan tanpa memadamkan jaringan transmisi. Hal ini dapat mengurangi *energi not serve* (ENS) karena energi dapat tetap tersalurkan serta dapat meminimalisasi risiko *blackout* sistem akibat pekerjaan *offline*.

Dengan penerapan metode PDKB dapat menyelamatkan rupiah yang berpotensi hilang akibat pemadaman saluran transmisi. Dengan penerapan metode PDKB, diharapkan dapat mengoptimalkan rupiah terselamatkan dan meningkatkan keandalan sistem di UIP3B Kalimantan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pembuatan tugas akhir ini, perumusan masalah yang akan dibahas adalah penerapan metode pekerjaan dalam keadaan bertegangan (*Live Line Maintenance*) yang meliputi,

1. Bagaimana pengaruh pekerjaan PDKB dan pekerjaan *offline* terhadap kinerja ENS perusahaan ?
2. Bagaimana perbandingan pekerjaan PDKB dengan pekerjaan *offline* terhadap *losses* energi dan pendapatan perusahaan ?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, telah ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada sistem tegangan tinggi 150 kV.
2. Pemeliharaan yang dibahas pada penelitian ini adalah pemeliharaan insulator pasca gangguan pada SUTT 150 kV.
3. Pemeliharaan jaringan transmisi 150 kV metode PDKB dilakukan pada penghantar SUTT 150 kV Barikin-Marabahan, SUTT 150 kV Barikin-

Amuntai 1, SUTT 150 kV Kasongan-SKS 1 dan SUTT 150 kV Kasongan-SKS 2.

4. Pemeliharaan Jaringan transmisi 150kV metode *offline* dilakukan pada penghantar SUTT 150 kV Barikin-Tanjung, SUTT 150 kV Sampit-Bagendang, SUTT 150 kV Sampit-Pangkalan Bun, SUTT 150 kV Palangkaraya-Sebangau dan SUTT 150 kV Asam asam- Pelaihari.
5. Membahas manfaat pengimplementasian metode PDKB berupa energi terselamatkan dan rupiah terselamatkan (*gain saving*).
6. Membahas perbandingan pekerjaan secara PDKB dan *offline* terhadap *energy not served* (ENS) dan keuntungan/kerugian secara finansial bagi perusahaan.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui energi listrik dan rupiah (*gain saving*) yang dapat diselamatkan dampak pengimplementasian metode *Live Line Maintenance* (PDKB) pada pemeliharaan jaringan transmisi 150 kV di area PT.PLN (Persero) UPT Banjarbaru

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh pekerjaan PDKB dan pekerjaan *offline* terhadap kinerja ENS perusahaan
2. Untuk mengetahui perbandingan pekerjaan PDKB dengan pekerjaan *offline* terhadap losses energi dan pendapatan perusahaan ?

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Untuk memperoleh pemahaman secara komperhensif terkait dengan topik yang dibahas dalam penelitian ini, berbagai penelitian telah dilakukan sebelumnya. Beberapa tinjauan pustaka yang dirujuk adalah sebagai berikut.

- A. Penelitian sebelumnya dengan judul “Implementasi Manajemen Energi pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan Tegangan Menengah (PDKB-TM) PT PLN (Persero) UP3 Kudus” telah dilakukan oleh Rohadi, Agus Adhi Nugroho dan Ida Widiastuti pada tahun 2022. Pada penelitian tersebut menggunakan metode kuantitatif dengan mengumpulkan data-data di unit PT.PLN (Persero) UP3 Kudus. Selain itu, pada Penelitian tersebut juga menggunakan metode *Net Present Value* (NPV) untuk menghitung kelayakan ekonomis dan metode *Internal Rate of Return* (IRR) untuk menghitung nilai suku bunga suatu investasi, kedua metode tersebut digunakan untuk mengetahui kelayakan secara ekonomis investasi PDKB-TM 20 kV di PT. PLN (Persero) UP3 Kudus. Pada penelitian tersebut menghasilkan nilai evaluasi investasi dengan metode NPV menghasilkan nilai sebesar Rp10,313,000,000 dimana NPV lebih besar dari 0, artinya investasi pekerjaan dengan PDKB layak dijalankan, sedangkan secara metode IRR nilai bunganya adalah 44.34% lebih besar dari bunga bank acuan yang digunakan yaitu 8%, artinya investasi layak secara ekonomis [7].
- B. Penelitian dengan judul “Analisis kWh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan” dilakukan oleh Catur Bayu Setiawan dan Tri Rijanto. Penelitian tersebut menggunakan metode kuantitatif dengan mengumpulkan data-data di unit PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan. Penelitian mengkaji tentang energi kWh yang bisa diselamatkan pada pekerjaan yang di lakukan tanpa adanya pemadaman oleh tim PDKB-TM 20 kV di PT. PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.

Setelah dianalisa dengan adanya PDKB TM 20 kV, selama periode bulan januari 2016 sampai dengan maret 2016 mampu menyelamatkan kWh sebesar 4.245.090,38 kWh, dimana rupiah kWh terselamatkannya adalah sebesar Rp 4.883.401.030,00 [8].

- C. Penelitian yang dilakukan oleh Dian Eka Putra dengan judul “Analisa Kontribusi Peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Peningkatan kWh Jual Pada Penyulang Virgo Di PT. PLN (Persero) WS2JB Area Lahat”. Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa dengan pelaksanaan PDKB di penyulang virgo, yaitu menekan angka rasio SAIDI dan SAIFI pada bulan April 2015 dengan nilai rata-rata SAIDI 61,6 menit/pelanggan dan SAIFI 0,28 kali padam/pelanggan. Serta dengan peningkatan penjualan kWh salur kepada pelanggan sebesar 308.629 kWh dan pendapatan perusahaan sebesar Rp. 238.733.435,- pada bulan April 2015 [2].
- D. Penelitian dengan judul “Analisa kWh Terselamatkan Pada Pemeliharaan ABSW(Air Break Switch) Dengan Metode PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta Rayon Purwokerto” dilakukan oleh Ari Juliasandi, Ikrima Alfi. Penelitian tersebut mengumpulkan data-data di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah Dan D.I. Yogyakarta Area Purwokerto. Penelitian pekerjaan pemeliharaan ABSW dengan metode PDKB di PT. PLN (Persero) Rayon Purwokerto pada tahun 2018, di dapatkan untuk energi Listrik (kWh) yang dapat diselamatkan yaitu sebesar 1.298.554,4 kWh bila di konversikan dalam angka rupiah adalah sebesar Rp 1.250.507.887. Untuk SAIDI dicapai oleh adanya PDKB yaitu sebesar 0,34068 jam/pelanggan/tahun dan untuk SAIFI 0,137 kali/pelanggan/tahun. SAIDI apabila pekerjaan pemeliharaan tidak dikerjakan secara online oleh PDKB-TM 20 kV yaitu sebesar 0,7867 jam/pelanggan/tahun dan untuk SAIFI-nya yaitu sebesar 0,279 kali/pelanggan/tahun. Total potensi kerugian yang bisa dialami jika tidak memberdayakan PDKB adalah senilai Rp 1.470.507.887. Apabila PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah Dan D.I. Yogyakarta Area Purwokerto

memberdayakan PDKB-TM 20 kV untuk melakukan pekerjaan dan pemeliharaan tersebut maka akan mendapatkan laba bersih sebesar Rp 578.507.887 [1].

- E. Penelitian yang dilakukan oleh Leo Sugiarto dengan judul “Analisis Perhitungan kWh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Cabang Singkawang”. Setelah di analisa dengan adanya pekerjaan PDKB TM di PT. PLN (Persero) Cabang Singkawang adalah sebesar 253,38 kWh, sedangkan untuk SAIDI yang bisa ditekan sebesar 176,43 Menit/Pelanggan, dan untuk SAIFI sebesar 0,98 Kali / Pelanggan [9].

Tabel 2.1 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

| PENELITIAN SEBELUMNYA | | PENELITIAN SAAT INI |
|---|--|--|
| JUDUL | PEMBAHASAN | PEMBAHASAN |
| Implementasi Manajemen Energi pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan Tegangan Menengah (PDKB-TM) PT PLN (Persero) UP3 Kudus. | Penelitian tersebut juga menggunakan metode Net Present Value (NPV) untuk menghitung kelayakan ekonomis dan metode Internal Rate of Return (IRR) untuk menghitung nilai suku bunga suatu investasi, kedua metode tersebut digunakan untuk mengetahui kelayakan secara ekonomis investasi PDKB-TM 20 kV di PT. PLN (Persero) UP3 Kudus. | Penelitian saat ini membahas mengenai energi terselamatkan dan <i>gain saving</i> atau rupiah terselamatkan dari pekerjaan PDKB TT 150 KV serta dampaknya terhadap kinerja <i>energi not served</i> (ENS). Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan antara pekerjaan PDKB dengan pekerjaan <i>offline</i> untuk mengetahui dampaknya terhadap kinerja ENS dan keuntungan finansial bagi perusahaan yang dilakukan di PT.PLN (Persero) UPT Banjarbaru. |
| Analisis kWh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan. | Penelitian ini mengkaji tentang energi kWh yang bisa diselamatkan pada pekerjaan yang di lakukan tanpa adanya pemadaman oleh tim PDKB-TM 20 kV di PT. PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan. | |
| Analisa Kontribusi Peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Peningkatan kWh Jual Pada Penyulang Virgo Di PT. PLN (Persero) WS2JB Area Lahat. | Penelitian ini mengkaji dampak pekerjaan PDKB TM 20 KV terhadap kinerja SAIDI dan SAIFI pada penyulang virgo PT.PLN (Persero) WS2JB Area Lahat. | |

| | | |
|--|--|--|
| Analisa kWh Terselamatkan Pada Pemeliharaan ABSW(Air Break Switch) Dengan Metode PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta Rayon Purwokerto. | Penelitian ini mengkaji dampak pekerjaan PDKB TM 20 KV terhadap kinerja SAIDI dan SAIFI serta keuntungan secara finansial pada PT. PLN (Persero) Distribusi Jateng DIY rayon Purwokerto. | |
| Analisis Perhitungan kWh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Cabang Singkawang. | Penelitian ini mengkaji dampak pekerjaan PDKB TM 20 KV terhadap kinerja SAIDI dan SAIFI serta penyelamatan kWh pada PT. PLN (Persero) Cabang Singkawang | |

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) adalah pekerjaan yang meliputi perbaikan, pemeliharaan, dan perluasan jaringan, dilakukan dalam bertegangan atau tanpa memadamkan jaringan yang beroperasi. Kelangsungan suplai energi listrik tetap terjaga dengan demikian, pelanggan tidak perlu cemas mengalami pemadaman selama pekerjaan tersebut.

Pasukan PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) adalah pasukan elit milik PLN yang terlatih melakukan pemeliharaan, perbaikan, dan penggantian isolator, konduktor maupun komponen lainnya pada jaringan listrik tanpa memadamkan aliran listrik, sehingga masyarakat Indonesia dapat tetap menikmati listriknya. Hingga Agustus 2019, PLN memiliki sebanyak 1321 pasukan PDKB yang tersebar se-Indonesia, terbagi menjadi PDKB Tegangan Extra Tinggi (TET) dan Tegangan Tinggi (TT) sebanyak 351 personil, Tegangan Menengah (TM) sebanyak 970 personel.

Pasukan PDKB memiliki berbagai sertifikasi, diantaranya sertifikasi internal PLN, Sertifikasi internasional dari Omaka New Zealand dan Terex Ritz

Brazil, sertifikasi Direktur Jenderal Ketenagalistrikan (DJK) Kementerian ESDM terkait bidang dan level kompetensinya.

Terdapat Pasukan PDKB Transmisi dan Gardu Induk, untuk PDKB Transmisi harus memenuhi kualifikasi rekrutmen yang relatif lebih ketat karena jenis pekerjaannya memang berbeda dengan pekerjaan tenaga kerja PLN lainnya diantaranya yaitu tidak takut ketinggian. Personil PDKB terbagi menjadi dua kompetensi bidang, yaitu bidang metode berjarak dan bidang metode sentuh langsung dengan kompetensi 5 level.

2.2.2 Metode Pekerjaan PDKB

Metode *barehand* adalah suatu metode dimana pelaksana bekerja dengan menyentuh konduktor yang bertegangan, sehingga tidak ada perbedaan potensial antara pelaksana dengan konduktor yang bertegangan. Metode ini dapat dilakukan pada tegangan 150 kV sampai dengan 500 kV dengan memperhatikan jarak aman minimum [3].



Gambar 2.1 Pemeliharaan Isolator secara PDKB dengan Metode *Barehand*

Prinsip teknis untuk pekerjaan bertegangan diatas sudah dikenal dari tahun 1837. Pada tahun tersebut, Michael Faraday menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan potensial dalam sebuah konduktor. Dia menemukan bahwa tidak ada pengisian listrik dan oleh sebab itu maka tidak ada medan elektrostatis di dalam sangkar logam yang telah diberi tegangan dengan potensial yang sama dengan menganggap tanah sebagai konduktor. Dengan tidak adanya perbedaan potensial maka tidak ada arus yang mengalir.

Dengan menggunakan prinsip tersebut, seorang pekerja dapat dialiri tegangan listrik apabila dilindungi dalam sebuah sangkar Faraday yang diikat/dihubungkan ke konduktor bertegangan sehingga dapat bekerja pada konduktor dengan nyaman. Cara ini hanya dapat dilakukan oleh pekerja yang diisolasi dari bumi dan fasa lainnya.

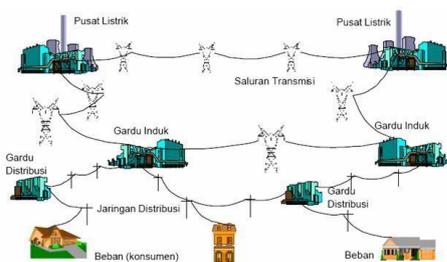


Gambar 2.2 Pemeliharaan Isolator secara PDKB dengan Metode *Hotstick*

Metode *Hotstick* adalah suatu metode dimana pelaksana berada di sisi tower yang terisolasi dari konduktor bertegangan. Metode ini menggunakan peralatan hotstick yang terbuat dari *Fibreglass Reinforced Plastic (FRP)* yaitu *fiberglass* yang diperkuat dengan plastik dengan jarak tertentu sehingga aman dikerjakan. Semua *hotstick* yang terbuat dari FRP harus mempunyai daya tahan elektrik dan mekanik yang sesuai standar [3].

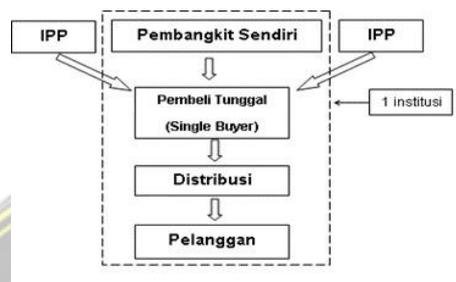
2.2.3 *Transmission Service Agreement (TSA)*

Penyediaan tenaga listrik secara umum dibagi dalam tiga komponen utama, yaitu pembangkitan dimana dilakukan konversi dari energi primer menjadi energi listrik, transmisi dimana energi dari pusat pembangkit dikirim ke pusat beban, dan distribusi dimana energi listrik akan dikirimkan ke pelanggan melalui Jaringan Tegangan 20 kV (JTM) kepada pelanggan.



Gambar 2.3 Komponen Sistem Tenaga Listrik

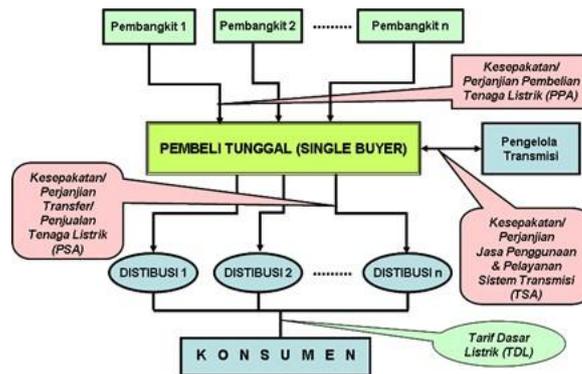
Model pasar tenaga listrik di Indonesia yang awalnya menggunakan model monopoli berubah ke model *Single Buyer* pada tahun 1996, hal ini ditandai dengan mulai beroperasinya pembangkit listrik swasta (*Independent Power Producer / IPP*) dalam usaha penyediaan energi listrik. PLN yang pada saat itu merupakan BUMN satu-satunya yang bergerak kelistrikan dan Pemegang Kuasa Usaha Kelistrikan di Indonesia (PKUK) diberi kewenangan untuk bertindak sebagai pembeli tunggal (*Single Buyer*) [6].



Gambar 2.4 Model Pasar *Single Buyer*

Pada struktur pasar tenaga listrik model *Single Buyer*, pola transaksi antar fungsi usaha penyediaan tenaga listrik dapat dikelompokkan ke dalam tiga pola transaksi utama sebagai berikut.

1. *Power Purchase Agreement* (PPA) merupakan kesepakatan transaksi jual-beli tenaga listrik dari masing masing entitas pembangkit Listrik Swasta (IPP) sebagai penjual dan entitas *Single Buyer* sebagai pembeli energi listrik.
2. *Transmission Service Agreement* (TSA) adalah perjanjian antara pengelola transmisi tenaga listrik dan entitas penerima jasa transmisi terkait biaya jasa penggunaan/sewa jaringan transmisi (*Power Wheeling*) serta jasa pelayanan sistem transmisi tenaga listrik.
3. *Power Sale Agreement* (PSA) adalah perjanjian antara entitas *Single Buyer* dengan entitas distribusi terkait jual beli energi listrik.



Gambar 2.5 Pola Transaksi *Single Buyer*

TSA adalah biaya jasa penggunaan dan pelayanan sistem transmisi. Biaya ini diperlukan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sisi pembangkitan ke sisi distribusi. Biaya pembangkitan dan biaya transmisi ini selanjutnya menjadi komponen biaya dalam menentukan harga jual tenaga listrik ke sisi distribusi. Harga jasa transmisi dituangkan dalam Kesepakatan Penggunaan dan Pelayanan Sistem Transmisi antara pengelola transmisi dengan *Single Buyer*. Kesepakatan ini dikenal dengan *Transmission Service Agreement (TSA)*. Dalam kaitan ini yang bertindak sebagai pengelola transmisi adalah PLN P3B [6].

Tenaga listrik tidak dapat disalurkan secara optimal bila salah satu atau lebih komponen transmisi dan/atau trafo tenaga mengalami gangguan. Struktur biaya TSA tidak melihat besar kecilnya energi listrik yang disalurkan, tetapi hanya melihat apakah transmisi dan/atau trafo tenaga siap menyalurkan tenaga listrik. Kesiapan ini dinyatakan (*declare*) oleh PLN P3B dalam bentuk target MVA available (MVA_{avl}). Pendapatan PLN P3B didapatkan melalui jumlah MVA_{avl} dikalikan dengan harga TSA. Hal ini sangat berkaitan erat dengan energi terselamatkan pada pekerjaan PDKB. Jika pekerjaan dilakukan secara *offline*, maka akan semakin besar energi yang tidak tersalurkan sehingga MVA_{avl} juga akan semakin sedikit, hal ini akan berakibat pada penurunan kinerja transmisi dimana MVA_{avl} tidak dapat tercapai. Selain itu pendapatan PLN P3B sebagai pelaksana transmisi juga akan berkurang dan berpotensi mengalami kerugian secara finansial. Pendapatan nilai jasa transmisi ini kemudian akan ditagihkan kepada PLN Pusat

sebagai *single buyer* untuk diakui sebagai pendapatan PLN P3B selaku pelaksana transmisi.

2.2.4 Indikator Kinerja Transmisi

Indikator kinerja transmisi merupakan parameter yang ditetapkan oleh perusahaan sehingga dalam menjalankan tugasnya dapat dilakukan penilaian apakah dapat memenuhi sasaran yang telah ditetapkan. Parameter yang sangat berkaitan dengan kinerja *transmission line* atau saluran transmisi adalah sebagai berikut.

1. TLOD (*Transmission Line Outage Duration*)

TLOD adalah indikator untuk mengukur lamanya gangguan pada *transmission line* setiap 100 KM. Lama gangguan *transmission line* dihitung sejak gangguan terjadi, hingga *transmission line* siap dibebani (*energize*).

2. TLOF (*Transmission Line Outage Frequency*)

TLOF adalah indikator untuk mengukur kekerapan gangguan pada *transmission line* setiap 100 KM.

3. ENS (*Energy not served*)

ENS adalah indikator untuk mengetahui banyaknya energi yang tidak dapat disalurkan akibat adanya gangguan atau pemadaman pada *transmission line*.

2.2.5 Perhitungan Energi Listrik (MVAh) Terselamatkan

Energi terselamatkan adalah energi listrik yang masih dapat tersalurkan saat dilakukan pekerjaan tanpa dilakukan pemadaman. Sedangkan energi tak terselamatkan adalah energi yang hilang akibat pemadaman untuk pekerjaan pemeliharaan, perbaikan, dan perluasan jaringan. Pada sistem 3 fasa, formulasi perhitungan energi terselamatkan adalah sebagai berikut.

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000} \quad (2.1)$$

Dimana,

E_{safe} : Energi terselamatkan (MVAh)

V_{max} : Tegangan pada penghantar (Volt)

I_{max} : Kapasitas arus maksimal pada penghantar (Ampere)

t : Waktu pengerjaan (Jam)

2.2.6 Perhitungan Nilai Rupiah Terselamatkan

Rupiah terselamatkan adalah hasil kesimpulan dari perhitungan Energi terselamatkan dengan harga per MVAh. Sehingga mendapatkan keuntungan yang berupa Rupiah, dengan Rumus sebagai berikut.

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA \quad (2.2)$$

Dimana,

Rp_{safe} : Nilai rupiah terselamatkan (Rupiah)

E_{safe} : Energi Terselamatkan (MVAh)

TSA : Harga energi per MVAh (Rupiah/MVAh)

2.2.7 Perhitungan Energi Tidak Tersalurkan (ENS)

Energy not served (ENS) atau energi tidak tersalurkan merupakan besaran energi yang hilang dan tidak dapat tersalurkan akibat adanya gangguan pada saluran transmisi serta akibat adanya pemadaman terjadwal pada saluran transmisi guna *preventive maintenance* pada saluran.

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000} \quad (2.3)$$

Dimana,

ENS : Energi tidak tersalurkan (MWh)

V_{max} : Tegangan pada penghantar (KV)

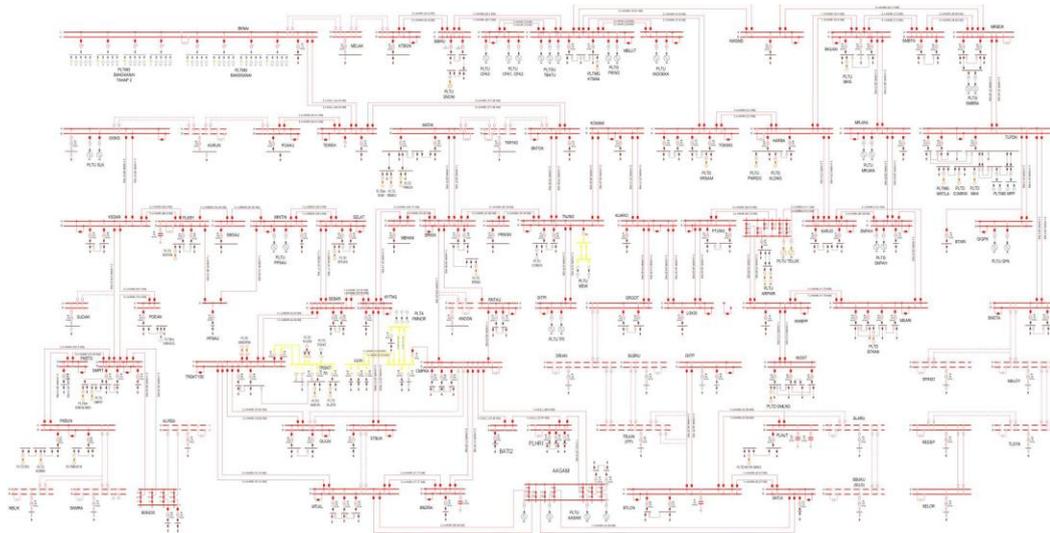
I_{max} : Kapasitas arus maksimal pada penghantar (Ampere)

t_{padam} : Lama waktu padam penghantar (Jam)

BAB III METODE PENELITIAN

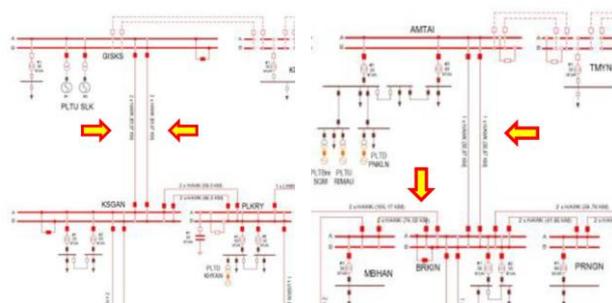
3.1 Model *Single Line Diagram* Sistem Interkoneksi Kalimantan

Pada penelitian ini, pekerjaan PDKB yang dijadikan sebagai acuan data adalah pekerjaan penggantian insulator pasca gangguan di Sistem Interkoneksi Kalimantan. Adapun single line diagram Sistem Interkoneksi Kalimantan dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 *Single line diagram* Sistem Interkoneksi Kalimantan

Data pekerjaan yang diambil yakni data pekerjaan PDKB Jaringan pada periode Oktober 2024 dimana pekerjaan dilakukan pada 4 penghantar yakni SUTT 150 kV Barikin-Marabahan, Barikin-Amuntai 1, Kasongan-SKS 1 dan 2 sedangkan titik lokasi pekerjaan yang dilakukan penggantian insuator pasca gangguan dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Titik pekerjaan penggantian insulator pasca gangguan secara PDKB

3.2 Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif dapat dikatakan sebagai sebuah metode yang ilmiah karena telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yaitu konkrit atau empiris, obyektif, terukur, rasional, dan sistematis.

Penelitian kuantitatif lebih menitik beratkan pada pengumpulan data. Data yang dimaksud berupa angka hasil pengukuran. Dari data tersebut kemudian di masukan ke rumus yang ada untuk menghasilkan angka-angka yang kemudian di analisa untuk memperoleh suatu data kesimpulan.

3.3 Sumber Data dan Data Penelitian

Sumber data untuk penelitian ini diperoleh dari kantor PT.PLN (Persero) UPT Banjarbaru bagian PDKB. Dimana data yang diambil berupa:

1. Data pekerjaan dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) yang dilaksanakan di PT.PLN (Persero) UPT Banjarbaru tahun 2024.
2. Data pekerjaan PDKB yang dimaksud meliputi data pemeliharaan jaringan transmisi.
3. Data beban penghantar yang dilakukan pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB)
4. Data *record* proteksi sistem auto reclose pada peralatan yang dilakukan pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB)

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan teknik observasi berupa mendatangi PDKB di PT PLN (Persero) UPT Banjarbaru dan bagian teknik PT PT PLN (Persero) UPT Banjarbaru, wawancara berupa menanyakan seputar PDKB, dan dokumentasi berupa pengambilan foto tentang PDKB waktu pekerjaan di wilayah kerja PT PLN (Persero) UPT Banjarbaru.

3.5 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam proses penulisan tugas akhir ini yaitu:

1. Pengambilan Data

Data diambil dari PT.PLN (Persero) UPT Banjarbaru.

2. Analisa dan Perhitungan

Analisa dilakukan untuk mengetahui hasil dari nilai MVAh terselamatkan, Rupiah terselamatkan serta manfaat non finansial dari penggunaan metode PDKB.

3. Penentuan Parameter

Menentukan nilai tegangan (V_{max}), kapasitas arus penghantar (I_{max}), TSA ($Rp/MVAh$), waktu (jam), *power factor*, Energi yang dapat terselamatkan (E_{safe}) dan Rupiah terselamatkan (Rp_{safe}).

4. Penarikan Kesimpulan

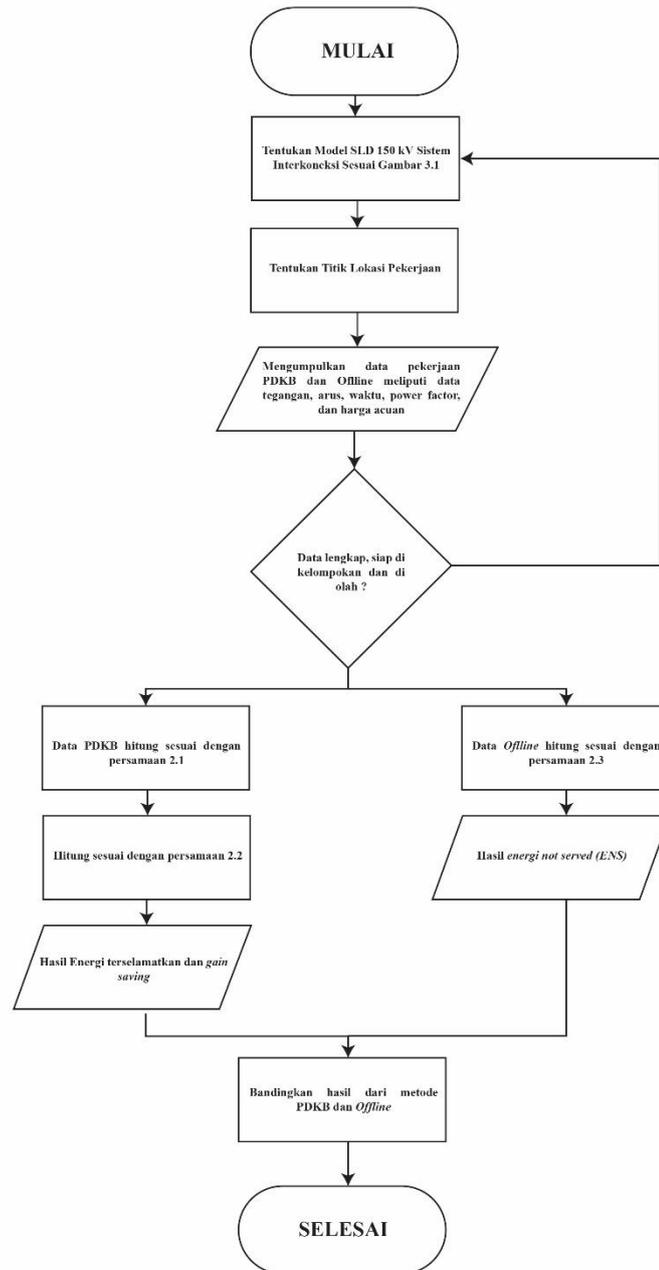
Penarikan kesimpulan dilakukan setelah semua tahapan penelitian diatas selesai. Kesimpulan dibuat untuk mengetahui dampak secara finansial pada penerapan metode *live line maintenance* dibandingkan dengan metode *offline* pada pekerjaan pemeliharaan berupa rupiah yang dapat terselamatkan (Rp_{safe}) dan dampak non finansial berupa keandalan sistem dan pengurangan *energi not serve* (ENS).

5. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Penulisan laporan tugas akhir merupakan tahap akhir penelitian yang bertujuan untuk mendokumentasikan hasil penelitian secara formal sehingga dapat bermanfaat di waktu mendatang untuk tujuan pengembangan metode maupun referensi akademis penelitian lain.

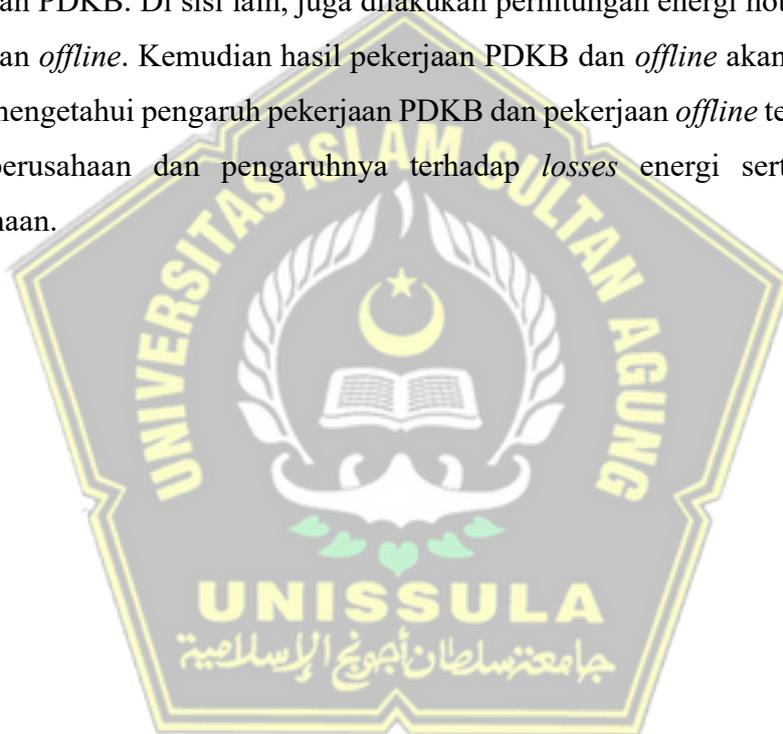
3.6 Teknik Analisa Data

Analisis data dilakukan dalam penelitian ini untuk menjawab permasalahan yang telah dideskripsikan dalam rangka merumuskan kesimpulan, sesuai dengan *flowchart* pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Flowchart* Metodologi Penelitian

Pada gambar 3.3 dapat diketahui bahwa akan dilakukan penentuan model SLD 150 KV Sistem Interkoneksi Kalimantan, selanjutnya menentukan titik lokasi pekerjaan pada SLD sesuai dengan pekerjaan yang telah dilakukan. Setelah itu, akan dilakukan pengumpulan data parameter pekerjaan yang meliputi data tegangan, arus, durasi pekerjaan, power faktor dan harga acuan. Data pekerjaan akan dihimpun sesuai dengan kebutuhan yang bersumber dari PT.PLN (Persero) UPT Banjarbaru bagian PDKB dan ULTG. Setelah data lengkap akan dilakukan perhitungan data sehingga didapatkan nilai energi terselamatkan dan *gain saving* pekerjaan PDKB. Di sisi lain, juga dilakukan perhitungan energi not served (ENS) pekerjaan *offline*. Kemudian hasil pekerjaan PDKB dan *offline* akan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh pekerjaan PDKB dan pekerjaan *offline* terhadap kinerja ENS perusahaan dan pengaruhnya terhadap *losses* energi serta pendapatan perusahaan.



BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Tata Kelola Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

4.1.1 Prinsip Kerja PDKB

Pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB) atau *live line maintenance* merupakan teknik yang memungkinkan pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan anomali pada penghantar/jalur listrik tanpa memadamkan aliran listrik. Hal ini dapat dilakukan karena pekerjaan PDKB memiliki peralatan dan prosedur khusus. Berikut adalah prinsip kerja PDKB sehingga dapat melakukan pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan anomali tanpa memadamkan aliran listrik.

A. Metode *Barehand* (Sentuh langsung)

Pada metode *barehand*, personil PDKB akan melakukan pekerjaan dengan menyentuh secara langsung pada peralatan/aksesoris yang masih dalam keadaan bertegangan. Metode ini menggunakan prinsip menyamakan tegangan antara personil dengan konduktor, sehingga tidak ada beda potensial antara keduanya. Personil akan menggunakan alat pelindung diri khusus berupa setelan baju konduktif yang disertai tudung kepala, sarung tangan konduktif, kaos kaki konduktif dan sepatu konduktif. Setelah memakai APD tersebut, personil akan memposisikan diri pada area yang dikerjakan menggunakan metode *access rope* (menggantung dengan tambang) atau metode ladder (menggunakan tangga) [3]. Personil akan diposisikan pada area yang dikerjakan dengan memperhatikan jarak aman antara personil dengan *ground* yakni 1,2 meter dan personil dengan *phasa* lain yakni 1,9 meter. Setelah berada diposisi, personil akan melakukan *bonding* (menggaitkan baju konduktif dengan konduktor) sehingga tidak ada beda potensial antara personil dengan konduktor. Dengan begitu personil akan dengan leluasa melakukan perbaikan pada area yang bertegangan. Akan tetapi, pada perbaikan anomali pada tower suspension, metode ini hanya dapat digunakan pada fasa bawah. Hal ini dikarenakan tidak terpenuhinya jarak aman pada pekerjaan di fasa tengah dan fasa atas.

B. Metode *Hotstick* (Berjarak)

Pada metode *hotstick*, personil PDKB akan melakukan pekerjaan pemeliharaan pada peralatan/aksesoris dengan bantuan peralatan *hotstick* (tongkat berisolasi) [3]. Metode ini menggunakan prinsip dengan memberikan jarak aman antara personil dengan area yang dikerjakan. Personil akan tetap berada pada jarak aman yakni minimal 1,2 meter dari konduktor/peralatan bertegangan. Personil akan mengerjakan pemeliharaan dengan bantuan tongkat berisolasi untuk mencapai area yang akan dikerjakan. *Hotstick* tersebut akan dilengkapi dengan aksesoris yang sesuai dengan jenis pekerjaan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Cutout Tool*

Alat ini berfungsi untuk pekerjaan yang memerlukan pegangan terhadap suatu benda. Bagiannya yang berbentuk seperti jari membuat alat ini cocok untuk pekerjaan semacam ini. Dapat menampung obyek yang lebarnya $3 \frac{3}{4}$ inci. Semua bagian yang menyentuh porselin ditutupi dengan plastisol.



Gambar 4.1 *Cutout Tool*

2. *Ratchet Wrench*

Dengan penggerak $\frac{1}{2}$ inci persegi, ratchet wrench digunakan untuk mengencangkan baut pada perlengkapan transmisi.



Gambar 4.2 *Ratchet Wrench*

3. *Cotter Key Pusher*

Untuk kopeling dengan ball dan socket isolator. Ujung yang lurus dari peralatan dapat masuk ke dalam soket yang terbuka untuk mendorong pen keluar. Ujung yang melengkung mendorong pen kembali ke posisinya.



Gambar 4.3 *Cotter Key Pusher*

4. *Cotter Key Puller*

Digunakan untuk menarik pin yang terdapat pada socket isolator.



Gambar 4.4 *Cotter Key Puller*

5. *Clear Vision Mirror*

Digunakan untuk melihat bagian - bagian yang terhalang.



Gambar 4.5 *Clear Vision Mirror*

Dan beberapa aksesoris *hotstick* lainnya yang dipasang sesuai dengan kebutuhannya. Pada metode ini jarak aman personil relatif lebih mudah terpenuhi,

sehingga pekerjaan yang tidak memungkinkan dilakukan secara *barehand*, dapat dikerjakan menggunakan metode ini.

4.1.2 Persiapan Pra Pekerjaan PDKB

Pada prinsipnya, pekerjaan akan dilakukan secara PDKB apabila pekerjaan tersebut tidak dapat dilakukan secara *offline*. Unit layanan transmisi dan gardu induk (ULTG) akan menerbitkan *working order* (WO) yang ditujukan kepada manajemen tim PDKB untuk melakukan pekerjaan pada aset mereka.

Kemudian tim PDKB akan menjadwalkan kegiatan *job safety analysis* (JSA) pada area yang akan dikerjakan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa kondisi lingkungan, kondisi sosial, peralatan serta jarak aman benar-benar terpenuhi dan dapat dilakukan pekerjaan secara PDKB. Selain itu, kegiatan tersebut juga menjadi dasar penentuan metode kerja serta jenis peralatan yang akan digunakan ketika pekerjaan. Setelah itu, tim JSA akan menyusun laporan JSA dan Identifikasi Bahaya Penilaian dan Pengendalian Risiko (IBPPR) sebagai mitigasi awal untuk mengurangi potensi risiko berdasarkan JSA di lapangan.

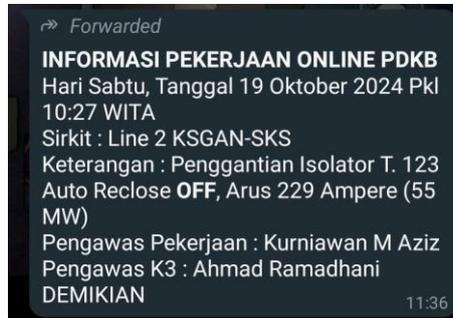
Setelah dipastikan dapat dikerjakan secara PDKB, kemudian mengkoordinasikan jadwal pekerjaan dengan unit pelaksanaan pengatur beban (UP2B) mengenai permintaan *setting* proteksi yakni *auto reclose block* (AR Block) pada penghantar yang akan dikerjakan.

Langkah terakhir sebelum proses pekerjaan yaitu persiapan dokumen pekerjaan, persiapan armada, peralatan dan alat pelindung diri yang sesuai dengan hasil JSA. Peralatan akan dilakukan inspeksi secara visual dan pengujian secara elektrik untuk memastikan peralatan dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.

4.1.3 Proses Pekerjaan PDKB

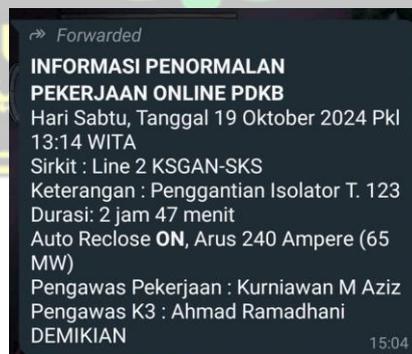
Pekerjaan akan dimulai dengan persiapan alat tepat di bawah tower yang akan dikerjakan. Kemudian pengawas pekerjaan akan melakukan koordinasi dengan bagian pengatur beban terkait dengan permintaan *Disable AR*. Bagian pengatur beban akan memberikan perintah pada gardu induk terkait untuk menonaktifkan

fungsi AR. Setelah itu, bagian pengatur beban akan menginformasikan kembali kepada pengawas pekerjaan berupa waktu AR off, arus yang mengalir pada penghantar dan beban pada penghantar.



Gambar 4.6 Informasi *Disable AR*

Setelah AR dinyatakan nonaktif, maka pekerjaan dapat dilanjutkan hingga pekerjaan selesai. Setelah pekerjaan selesai, pengawas pekerjaan akan berkoordinasi kembali dengan bagian pengatur beban terkait dengan permintaan *enable AR*. Bagian pengatur beban akan memberikan perintah kepada gardu induk terkait untuk mengaktifkan kembali fungsi AR. Kemudian bagian pengatur beban akan menginformasikan waktu AR *On*, arus yang mengalir pada penghantar dan beban penghantar.



Gambar 4.7 Informasi *Enable AR*

Durasi waktu antara AR off dan AR on inilah yang akan menjadi salah satu acuan pada perhitungan *gain saving*.

4.1.4 Pelaporan Pasca Pekerjaan PDKB

Salah satu tahapan pada rangkaian pekerjaan PDKB yakni pelaporan pasca pekerjaan. Pada proses ini, Pengawas K3 akan membuat laporan pasca pekerjaan yang disertai dengan berita acara bahwa pekerjaan telah selesai dilaksanakan. Sebagai tahap akhir, laporan ini akan dikirimkan kepada ULTG selaku pemilik aset sebagai arsip dokumen yang menyatakan bahwa PDKB telah menyelesaikan permintaan pekerjaan sesuai dengan WO yang telah dikirimkan sebelumnya.

4.2 Variabel Perhitungan Energi Terselamatkan

4.2.1 Waktu Disable-Enable Auto Reclose (AR)

Auto reclose (AR) merupakan salah satu sistem proteksi yang memungkinkan PMT menutup kembali setelah terjadi *trip* akibat gangguan temporer. Pada pekerjaan PDKB, *auto reclose* sangat membahayakan bagi personil maupun peralatan. Ketika AR bekerja, akan terjadi lonjakan arus sesaat hingga tiga kali lipat nilai arus nominal yang disebabkan aktivitas *switching* dari PMT. Hal ini akan berakibat pada berkurangnya jarak aman antara personil dengan peralatan bertegangan. Jika hal ini terjadi, maka akan ada potensi risiko arching/lompatan surja dari peralatan bertegangan ke personil. Selain itu, lonjakan arus ini juga dapat menyebabkan peralatan isolasi menjadi *breakdown* hingga menyebabkan *short circuit* yang akan menimbulkan ledakan pada area kerja.

Oleh karena itu, sebelum pekerjaan dimulai, pengawas pekerjaan akan meminta *disable auto reclose* dan setelah selesai pekerjaan, pengawas pekerjaan akan meminta *enable auto reclose* kembali. Waktu antara *disable* hingga *enable* AR inilah yang akan digunakan sebagai acuan durasi pekerjaan PDKB. Adapun durasi ini dinyatakan dalam satuan jam.

4.2.2 Tegangan Penghantar

Tegangan penghantar merupakan tegangan yang digunakan dalam sistem saluran udara tegangan tinggi (SUTT). Saluran udara tegangan tinggi dirancang untuk mengalirkan energi listrik dari pembangkit ke gardu induk atau dari gardu induk satu ke gardu induk lainnya dengan jarak yang jauh. Pada penyaluran jarak

jauh, penggunaan tegangan tinggi akan meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi tegangan maka diperlukan arus yang semakin kecil untuk jumlah daya yang sama. Arus yang lebih kecil akan mengurangi *losses* yang timbul dalam bentuk energi panas pada proses penyaluran. Nominal tegangan yang digunakan pada sistem SUTT yaitu 70 kV dan 150 kV. Pada tugas akhir ini, tegangan penghantar akan menjadi acuan sebagai perhitungan daya semu. Data-data pekerjaan yang diambil pada penelitian ini adalah pekerjaan pada sistem tegangan 150 kV.

4.2.3 Arus Penghantar

Pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB) merupakan pekerjaan yang dilakukan tanpa memadamkan tegangan penghantar. Pekerjaan ini menjadi solusi pada titik-titik pekerjaan yang tidak memungkinkan untuk dilakukan pemadaman penghantar. Sehingga, ketika pekerjaan dilakukan, arus penghantar masih dapat tetap mengalir. Oleh karena itu, konduktor pada penghantar masih memiliki potensi untuk mengalirkan arus listrik sesuai dengan kapasitas nominalnya. Dimana, apabila pekerjaan dilakukan tanpa PDKB, penghantar tersebut harus dipadamkan. Hal ini akan berakibat pada arus listrik yang seharusnya dapat mengalir menjadi tidak teralirkan. Selain itu, potensi konduktor untuk mengalirkan arus sesuai dengan kapasitas nominalnya menjadi hilang. Sehingga hal ini berdampak langsung pada kerugian secara elektrik sebesar potensi arus yang dapat mengalir sesuai dengan kapasitas nominalnya. Adapun kapasitas arus penghantar dinyatakan dalam satuan ampere.

4.2.4 Energi

Dalam sistem tenaga listrik, energi merupakan besaran yang dimanfaatkan langsung oleh konsumen untuk memenuhi kebutuhan listrik mereka. Oleh karena itu, pada PT. PLN (Persero), salah satu produk yang dijual belikan adalah energi listrik.

Energi merupakan daya yang dikonsumsi dalam periode waktu tertentu. Pada proses penyaluran tenaga listrik, daya yang disalurkan yakni daya semu (daya aktif

dan daya reaktif). Penghantar listrik tidak hanya menyalurkan daya aktif, tetapi juga daya reaktif yang diperlukan oleh perangkat yang bersifat induktif. Baik daya aktif maupun daya reaktif, keduanya menyebabkan arus mengalir melalui penghantar. Sehingga, pada penentuan kapasitas penghantar harus memperhatikan gabungan dari kedua daya ini. Oleh karena itu satuan daya yang digunakan pada proses penyaluran tenaga listrik ini yaitu VA (satuan daya semu). Maka, satuan energi yang digunakan pada operasi penyaluran tenaga listrik ini adalah VAh.

4.2.5 Harga Energi

Salah satu produk yang dijual pada PT. PLN (Persero) adalah energi listrik. Sehingga setiap energi listrik yang terproduksi akan dihitung sebagai omset yang harus disalurkan dan terjual. Pekerjaan pemeliharaan secara *offline* (memadamkan penghantar) akan berakibat pada energi yang tidak tersalurkan dan memiliki potensi yang menyebabkan kerugian secara finansial. Sedangkan dengan pekerjaan secara PDKB, potensi kerugian itu akan dihitung sebagai *gain saving* (rupiah terselamatkan). Harga energi yang digunakan sebagai acuan perhitungan yakni menggunakan acuan TSA (*Transmission Service Agreement*) yang diterbitkan setiap tahun. Adapun satuan harga energi yang digunakan yakni Rp/MVAh.

4.2.6 Energi Terselamatkan

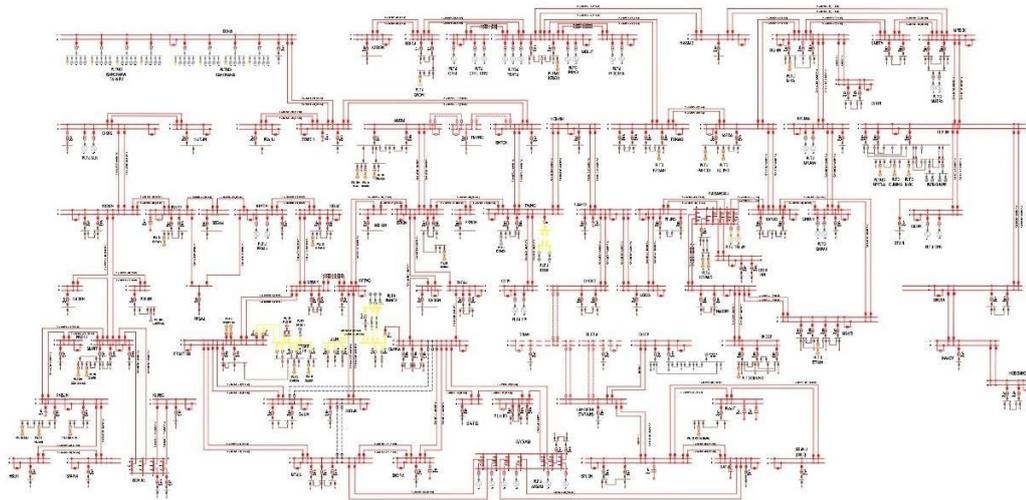
Kondisi anomali merupakan suatu kondisi dimana peralatan tidak dalam kondisi normal dan berpotensi mengakibatkan gangguan pada sistem. Jika kondisi anomali peralatan ditemukan, maka pemeliharaan pada peralatan tersebut harus segera dilakukan agar peralatan kembali pada kondisi normal serta menghindari risiko gangguan pada sistem akibat gagal fungsi peralatan. Secara umum, pemeliharaan dilakukan secara *offline* dimana harus dilakukan pemadaman penghantar. Hal ini akan berakibat pada energi yang tidak dapat tersalurkan. Sedangkan dengan pekerjaan secara PDKB, pekerjaan dapat dilakukan tanpa memadamkan penghantar sehingga energi dapat tetap tersalurkan. Hal inilah yang kemudian disebut sebagai energi terselamatkan. Adapun satuan yang digunakan untuk energi terselamatkan yaitu VAh.

4.2.7 Rupiah Terselamatkan

Pekerjaan secara *offline* merupakan pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan dengan memadamkan penghantar. Ketika penghantar dipadamkan, maka tidak akan ada tegangan dan arus yang mengalir melalui konduktor. Sehingga, pada proses pekerjaan pemeliharaan tidak ada energi yang disalurkan. Setiap energi listrik yang diproduksi merupakan produk yang harus dijual dan disalurkan kepada pelanggan. Oleh karena itu, pemeliharaan dengan metode ini memiliki potensi yang menyebabkan kerugian secara finansial. Dengan melakukan pekerjaan secara PDKB (tanpa memadamkan penghantar), potensi kerugian finansial tersebut akan dihitung sebagai *gain saving* (rupiah terselamatkan). Adapun satuan yang digunakan untuk rupiah terselamatkan yaitu Rp (Rupiah).

4.3 Data Pekerjaan PDKB Tahun 2024

Data pekerjaan pada tugas akhir ini menggunakan data-data pekerjaan PDKB Transmisi PT. PLN (Persero) UPT Banjarbaru periode Oktober 2024. Adapun data pekerjaan tersebut sesuai pada tabel 4.1 berikut ini.



Gambar 4.8 Single Line Diagram Sistem Interkoneksi

Tabel 4.1 Data Lokasi Pekerjaan PDKB Transmisi Tahun 2024

| NO. | TANGGAL PELAKSANAAN | JALUR PENGHANTAR | URAIAN PEKERJAAN | TOWER YANG DIKERJAKAN | |
|-----|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|
| | | | | NO TOWER | POSISI PHASA |
| 1 | 01 Oktober 2024 | TRS 150 KV BARIKIN-MARABAHAN | Isolator Flash Over Fasa S | 144 | S |
| 2 | 02 Oktober 2024 | TRS 150 KV BARIKIN - AMUNTAI 1 | Isolator Pecah Fasa R | 71 | R |
| 3 | 13 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 1 | Isolator Flash Over Fasa S | 121 | S |
| 4 | 13 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa T | 121 | T |
| 5 | 14 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 1 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 163 | RT |
| 6 | 15 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 163 | RT |
| 7 | 16 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa T | 122 | T |
| 8 | 18 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 1 | Isolator Flash Over Fasa T | 120 | T |
| 9 | 19 Oktober 2024 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa T | 123 | T |

Tabel 4.2 Data Parameter Pekerjaan PDKB Transmisi Tahun 2024

| NO. | TANGGAL PELAKSANAAN | URAIAN PEKERJAAN | KAPASITAS | TEGANGAN | TSA | DURASI | BEBAN |
|-----|---------------------|--------------------------------|-----------|----------|-----------|--------|-------|
| | | | (A) | (kV) | (Rp/MVAh) | (HOUR) | (MW) |
| 1 | 01 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa S | 1200 | 150 | 35.186 | 2,97 | 20 |
| 2 | 02 Oktober 2024 | Isolator Pecah Fasa R | 600 | 150 | 35.186 | 4,40 | 11 |
| 3 | 13 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa S | 1200 | 150 | 35.186 | 3,50 | 78 |
| 4 | 13 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 1200 | 150 | 35.186 | 2,28 | 78 |
| 5 | 14 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 1200 | 150 | 35.186 | 4,23 | 78 |
| 6 | 15 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 1200 | 150 | 35.186 | 3,23 | 70 |
| 7 | 16 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 1200 | 150 | 35.186 | 2,82 | 71 |
| 8 | 18 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 1200 | 150 | 35.186 | 1,73 | 70 |
| 9 | 19 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 1200 | 150 | 35.186 | 2,78 | 65 |

4.4 Perhitungan Energi Terselamatkan

Dari data parameter pekerjaan yang terdapat pada tabel 4.2 dapat dilakukan perhitungan energi terselamatkan dengan persamaan persamaan (2.1):

1. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa S pada tanggal 1 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$
$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 2,97 \text{ h}}{1.000.000}$$
$$E_{safe} = 534 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator *flash over* fasa S pada tanggal 1 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 534 MVAh.

2. Pekerjaan Isolator Pecah Fasa R pada tanggal 2 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$
$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 4,40 \text{ h}}{1.000.000}$$
$$E_{safe} = 396 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator pecah fasa R pada tanggal 2 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 396 MVAh.

3. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa S pada tanggal 13 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$
$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 3,50 \text{ h}}{1.000.000}$$
$$E_{safe} = 630 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator *flash over* fasa S pada tanggal 13 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 630 MVAh.

4. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 13 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 2,28 \text{ h}}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = 411 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator flash over fasa T pada tanggal 13 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 411 MVAh.

5. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa R & T pada tanggal 14 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 4,23 \text{ h}}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = 762 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator flash over fasa R & T pada tanggal 14 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 762 MVAh.

6. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa R & T pada tanggal 15 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 3,23 \text{ h}}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = 582 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator flash over fasa R & T pada tanggal 15 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 582 MVAh.

7. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 16 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 2,82 \text{ h}}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = 507 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator flash over fasa T pada tanggal 16 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 507 MVAh.

8. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 18 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 1,73 \text{ h}}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = 312 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 18 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 312 MVAh.

9. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 19 Oktober 2024:

$$E_{safe} = \frac{V_{max} \times I_{max} \times t}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = \frac{150.000 \text{ V} \times 1.200 \text{ A} \times 2,78 \text{ h}}{1.000.000}$$

$$E_{safe} = 501 \text{ MVAh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa pada pekerjaan isolator flash over fasa T pada tanggal 19 Oktober 2024 terdapat *energy saving* sebesar 501 MVAh.

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil energi terselamatkan sesuai dengan tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Energi Terselamatkan pada Pekerjaan PDKB Tahun 2024

| NO. | JALUR PENGHANTAR | URAIAN PEKERJAAN | TOWER YANG DIKERJAKAN | | ENERGI TERSELAMATKAN |
|-----|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|----------------------|
| | | | NO TOWER | POSISI PHASA | MVAh |
| 1 | TRS 150 KV BARIKIN-MARABAHAN | Isolator Flash Over Fasa S | 144 | S | 534 |
| 2 | TRS 150 KV BARIKIN - AMUNTAI 1 | Isolator Pecah Fasa R | 71 | R | 396 |
| 3 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 1 | Isolator Flash Over Fasa S | 121 | S | 630 |
| 4 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa T | 121 | T | 411 |
| 5 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 1 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 163 | RT | 762 |
| 6 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 163 | RT | 582 |
| 7 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa T | 122 | T | 507 |
| 8 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 1 | Isolator Flash Over Fasa T | 120 | T | 312 |
| 9 | TRS 150 KV KASONGAN - SKS 2 | Isolator Flash Over Fasa T | 123 | T | 501 |

4.5 Perhitungan Rupiah Terselamatkan (*Gain saving*)

Dari data energi terselamatkan yang terdapat pada tabel 4.3 dapat dilakukan perhitungan rupiah terselamatkan melalui persamaan (2.2):

1. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa S pada tanggal 1 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 534 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp 18.789.324$$

2. Pekerjaan Isolator Pecah Fasa R pada tanggal 2 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 396 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp 13.933.656$$

3. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa S pada tanggal 13 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 630 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp \text{ 22.167.180}$$

4. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 13 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 411 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp \text{ 14.461.446}$$

5. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa R & T pada tanggal 14 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 762 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp \text{ 26.811.732}$$

6. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa R & T pada tanggal 15 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 582 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp \text{ 20.478.252}$$

7. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 16 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 507 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp \text{ 17.839.302}$$

8. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 18 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 312 \text{ MVAh} \times 35.186 \text{ Rupiah}_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp\ 10.978.032$$

9. Pekerjaan Isolator Flash Over Fasa T pada tanggal 19 Oktober 2024:

$$Rp_{safe} = E_{safe} \times TSA$$

$$Rp_{safe} = 501\ MVAh \times 35.186\ Rupiah_{/MVAh}$$

$$Rp_{safe} = Rp\ 17.628.186$$

Setelah dilakukan perhitungan, nilai rupiah terselamatkan pada setiap titik pekerjaan sesuai dengan tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Energi Terselamatkan Pekerjaan PDKB Transmisi

| NO. | TANGGAL PELAKSANAAN | URAIAN PEKERJAAN | TOWER YANG DIKERJAKAN | | TSA | ENERGY SAVING | GAIN SAVING |
|--------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|-----------|---------------|--------------------|
| | | | NO TOWER | POSISI PHASA | (Rp/MVAh) | (MVAh) | (Rp) |
| 1 | 01 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa S | 144 | S | 35.186 | 534 | 18.789.324 |
| 2 | 02 Oktober 2024 | Isolator Pecah Fasa R | 71 | R | 35.186 | 396 | 13.933.656 |
| 3 | 13 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa S | 121 | S | 35.186 | 630 | 22.167.180 |
| 4 | 13 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 121 | T | 35.186 | 411 | 14.461.446 |
| 5 | 14 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 163 | RT | 35.186 | 762 | 26.811.732 |
| 6 | 15 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa R & T | 163 | RT | 35.186 | 582 | 20.478.252 |
| 7 | 16 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 122 | T | 35.186 | 507 | 17.839.302 |
| 8 | 18 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 120 | T | 35.186 | 312 | 10.978.032 |
| 9 | 19 Oktober 2024 | Isolator Flash Over Fasa T | 123 | T | 35.186 | 501 | 17.628.186 |
| Total Gain Saving | | | | | | | 163.087.110 |

4.6 Data Pekerjaan ULTG Tahun 2024

Data pekerjaan pada tugas akhir ini menggunakan data-data pekerjaan ULTG PT. PLN (Persero) UPT Banjarbaru dan UPT Palangkaraya periode Oktober 2024. Adapun data pekerjaan tersebut sesuai pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Data Pekerjaan ULTG Periode Oktober 2024

| NO. | TANGGAL PELAKSANAAN | URAIAN PEKERJAAN | JALUR PENGHANTAR |
|-----|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 28 September 2024 | Penggantian Isolator Polimer | Line Barikin - Tanjung |
| 2 | 28 September 2024 | Penggantian Isolator | Line 2 Sampit - Bagendang |
| 3 | 29 September 2024 | Penggantian Isolator Polimer | Line Barikin - Tanjung |
| 4 | 29 September 2024 | Penggantian Isolator | Line 1 Sampit - Bagendang |
| 5 | 30 September 2024 | Penggantian Isolator | Line Asam-Asam - Pelaihari |
| 6 | 01 Oktober 2024 | Penggantian Isolator | Line Sampit - Pangkalan Bun |
| 7 | 28 Oktober 2024 | Penggantian Isolator | Line Palangkaraya - Sebangau |

Tabel 4.6 Data Parameter Pekerjaan ULTG Periode Oktober 2024

| NO. | TANGGAL PELAKSANAAN | URAIAN PEKERJAAN | KAPASITAS NOMINAL | TEGANGAN | POWER FACTOR | DURASI |
|-----|---------------------|------------------------------|-------------------|----------|--------------|--------|
| | | | (A) | (kV) | | (JAM) |
| 1 | 28 September 2024 | Penggantian Isolator Polimer | 1200 | 150 | 0,8 | 8 |
| 2 | 28 September 2024 | Penggantian Isolator | 1200 | 150 | 0,8 | 8 |
| 3 | 29 September 2024 | Penggantian Isolator Polimer | 1200 | 150 | 0,8 | 8 |
| 4 | 29 September 2024 | Penggantian Isolator | 1200 | 150 | 0,8 | 8 |
| 5 | 30 September 2024 | Penggantian Isolator | 700 | 150 | 0,8 | 5 |
| 6 | 01 Oktober 2024 | Penggantian Isolator | 1200 | 150 | 0,8 | 8 |
| 7 | 28 Oktober 2024 | Penggantian Isolator | 1200 | 150 | 0,8 | 8 |

Dari data parameter pekerjaan ULTG periode Oktober 2024 yang terdapat pada tabel 4.6, dapat dilakukan perhitungan *energi not served* (ENS) sesuai dengan persamaan (2.3) sebagai berikut.

1. Pekerjaan Penggantian Isolator Polimer Line Barikin – Tanjung pada 28 September 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 8 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 840,96 \text{ MWh}$$

2. Pekerjaan Penggantian Isolator Line 2 Sampit – Bagendang pada 28 September 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 8 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 840,96 \text{ MWh}$$

3. Pekerjaan Penggantian Isolator Polimer Line Barikin – Tanjung pada 29 September 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 8 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 840,96 \text{ MWh}$$

4. Pekerjaan Penggantian Isolator Line 1 Sampit – Bagendang pada 29 September 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 8 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 840,96 \text{ MWh}$$

5. Pekerjaan Penggantian Isolator Line Asam-Asam – Pelaihari pada 30 September 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 5 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 306,60 \text{ MWh}$$

6. Pekerjaan Penggantian Isolator Line Sampit - Pangkalan Bun pada 01 Oktober 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 8 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 840,96 \text{ MWh}$$

7. Pekerjaan Penggantian Isolator Line Palangkaraya – Sebangau pada 28 Oktober 2024:

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times V_{max} \times I_{max} \times pf \times t_{padam}}{1.000}$$

$$ENS = \frac{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 1200 \text{ A} \times 0,8 \times 8 \text{ h}}{1.000}$$

$$ENS = 840,96 \text{ MWh}$$

Setelah dilakukan perhitungan, *energi not served (ENS)* dari pekerjaan *offline* pada periode Oktober 2024 adalah sebesar 5.352,36 MWh atau setara dengan Rp. 322.479.690 sesuai dengan tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 *Energi Not Served (ENS)* Pekerjaan Offline Periode Oktober 2024

| NO. | TANGGAL PELAKSANAAN | URAIAN PEKERJAAN | ENS | NILAI |
|--------------|---------------------|------------------------------|----------|------------------|
| | | | MWh | RUPIAH |
| 1 | 28 September 2024 | Penggantian Isolator Polimer | 840,96 | Rp50.667.840,00 |
| 2 | 28 September 2024 | Penggantian Isolator | 840,96 | Rp50.667.840,00 |
| 3 | 29 September 2024 | Penggantian Isolator Polimer | 840,96 | Rp50.667.840,00 |
| 4 | 29 September 2024 | Penggantian Isolator | 840,96 | Rp50.667.840,00 |
| 5 | 30 September 2024 | Penggantian Isolator | 306,60 | Rp18.472.650,00 |
| 6 | 01 Oktober 2024 | Penggantian Isolator | 840,96 | Rp50.667.840,00 |
| 7 | 28 Oktober 2024 | Penggantian Isolator | 840,96 | Rp50.667.840,00 |
| TOTAL | | | 5.352,36 | Rp322.479.690,00 |

Dari Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa pada pekerjaan pemeliharaan penghantar dengan metode *offline* pada periode Oktober 2024, energi yang tidak dapat disalurkan yang diakibatkan oleh pemadaman penghantar dalam rangka pemeliharaan adalah sebesar 5.352.360.000 *Watt-hour* atau sebesar 5.352,36 MWh.

Dimana nilai tersebut setara dengan kerugian secara finansial perusahaan sebesar Rp. 322.479.690 pada periode Oktober 2024. Sedangkan jika pekerjaan tersebut dilakukan secara PDKB, maka kerugian sebesar Rp. 322.479.690 tersebut dapat dihindari dan masuk sebagai pendapatan bidang transmisi.

4.7 Perbandingan Dampak Pekerjaan PDKB dengan Pekerjaan *Offline*

Perbandingan dampak pekerjaan dengan metode PDKB dengan pekerjaan yang dilakukan menggunakan metode *offline* sesuai dengan tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8 Perbandingan Dampak Pemeliharaan secara PDKB dan *Offline*

| NO. | METODE PEKERJAAN | ENS | NILAI KERUGIAN | ENERGI TERSELAMATKAN | NILAI TERSELAMATKAN |
|-----|-----------------------|----------|----------------|----------------------|---------------------|
| | | MWh | RUPIAH | MVAh | RUPIAH |
| 1 | Metode PDKB | 0 | 0 | 6.486 | 228.216.396 |
| 2 | Metode <i>Offline</i> | 5.352,36 | 322.479.690 | 0 | 0 |



BAB V KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan perhitungan pada data pekerjaan PDKB Transmisi UPT Banjarbaru tersebut, maka diperoleh kesimpulan dari proses pengerjaan tugas akhir ini. Dalam rangka memperoleh hasil analisa yang lebih baik untuk waktu mendatang, penulis memberikan saran dari hasil evaluasi dan keterbatasan pembuatan. Adapun kesimpulan dan saran adalah sebagai berikut.

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan pada data-data pekerjaan pemeliharaan *transmission line* metode *offline* dan metode PDKB Transmisi UPT Banjarbaru periode Oktober 2024, maka dapat disimpulkan bahwa:

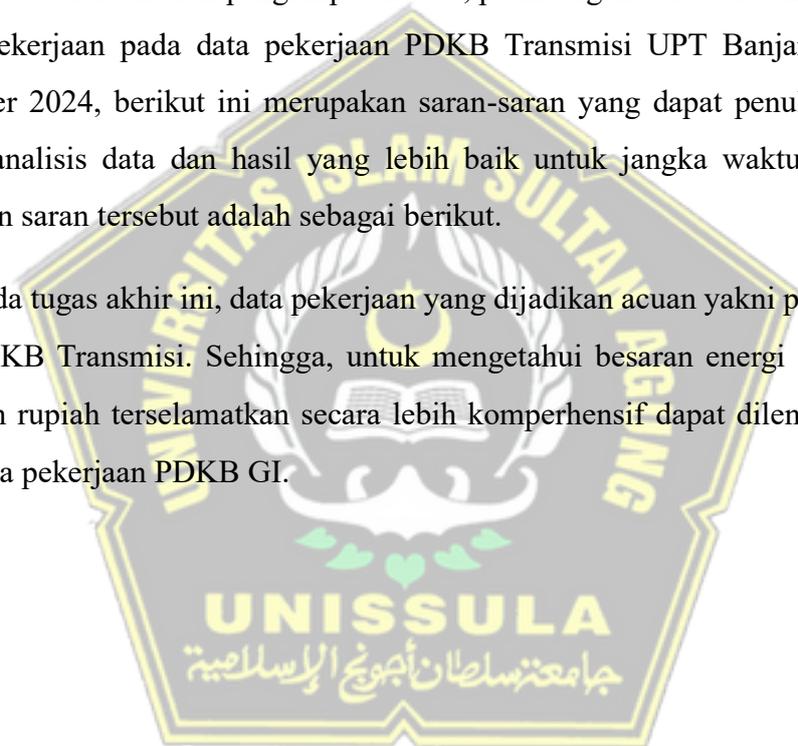
1. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa antara pekerjaan yang dilakukan dengan menggunakan metode PDKB dengan metode *offline* memiliki pengaruh terhadap kinerja ENS dengan hasil yang bertolak belakang. Pada pekerjaan dengan metode PDKB, *energy not served* (ENS) yakni sebesar 0 MWh. Hal ini berarti dengan menggunakan metode PDKB, tidak ada energi yang tidak tersalurkan akibat proses pekerjaan pemeliharaan. Sedangkan dengan metode *offline*, *energy not served* (ENS) yakni sebesar 5.352,36 MWh. Hal ini berarti pada proses pekerjaan pemeliharaan secara *offline* terdapat energi yang tidak tersalurkan sebesar 5.352,36 MWh.
2. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara pekerjaan PDKB dan pekerjaan *offline* terhadap energi yang tidak tersalurkan dan pendapatan perusahaan. Pada pekerjaan PDKB menunjukkan bahwa pada proses pekerjaan, energi yang tidak tersalurkan yakni 0 MWh. Dengan kata lain, pada proses ini tidak ada *losses* energi akibat proses pemeliharaan. Sebaliknya, pekerjaan PDKB dapat menyelamatkan energi yang berpotensi hilang sebesar 4.635 MWh atau setara

dengan 163.087.110 rupiah sebagai keuntungan perusahaan. Sedangkan pada pekerjaan secara *offline*, energi yang hilang akibat proses pemeliharaan yakni sebesar 5.352,36 MWh. Artinya, pada proses pekerjaan yang dilakukan secara *offline* terdapat *losses* energi sebesar 5.352,36 MWh atau setara dengan kerugian perusahaan sebesar 322.479.690 rupiah.

5.2 Saran

Setelah dilakukan pengumpulan data, perhitungan variabel dan analisis data-data pekerjaan pada data pekerjaan PDKB Transmisi UPT Banjarbaru periode Oktober 2024, berikut ini merupakan saran-saran yang dapat penulis sampaikan demi analisis data dan hasil yang lebih baik untuk jangka waktu kedepannya. Adapun saran tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pada tugas akhir ini, data pekerjaan yang dijadikan acuan yakni pada pekerjaan PDKB Transmisi. Sehingga, untuk mengetahui besaran energi terselamatkan dan rupiah terselamatkan secara lebih komperhensif dapat dilengkapi dengan data pekerjaan PDKB GI.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Juliasandi, Ari. 2019. *Analisa kWH Terselamatkan Pada Pemeliharaan ABSW (Air Break Switch) Dengan Metode PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta Rayon Purwokerto*. Yogyakarta: Universitas Teknologi Yogyakarta
- [2] Putra, D. Eka. 2016. *Analisa Kontribusi Peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Peningkatan Kwh Jual Pada Penyulang Virgo di PT. PLN (Persero) WS2JB Area Lahat*. Palembang: J. Ampere, vol. 1, no. 1, p. 1
- [3] PLN (Persero) UP3B JB. 2018. *Panduan Umum Pemeliharaan Transmisi TT/TET Dengan Metode PDKB*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero)
- [4] PT PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*. Jakarta Selatan. PT. PLN (Persero)
- [5] PT PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transmisi*. Jakarta Selatan. PT. PLN (Persero)
- [6] PT PLN (Persero). 2014. *Mekanisme Transaksi Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. PT. PLN (Persero)
- [7] Rohadi, dkk. 2022. *Implementasi Manajemen Energi pada Pekerjaan dalam Keadaan Bertegangan Tegangan Menengah (PDKB-TM) PT PLN (Persero) UP3 Kudus*. Semarang: Prosiding Seminar Nasional KIMU 7
- [8] Setiawan, C. Bayu. 2017. *Analisis Kwh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan*. Surabaya: Jurnal Teknik Elektro, vol. 6, no. 2, pp. 81–88

- [9] Sugiarto, Leo. 2014. *Analisis Perhitungan KWH Terselamatkan pada Pekerjaan dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV Cabang Singkawang*. Kalimantan Barat: Jurnal Untan vol. 1–6, p. 2

