# Analisis Laju Kegagalan Transformator pada Penyulang Mawar Menggunakan Metode FTA di PT. PLN UP3 Jayapura

*Suparno[a], Yosef Lefaan[b], Herbert Innah[c], Theresia O. Wuri[d], Afner S. Sinaga[e], Bayu Purnomo Partino[f]*

[a,b,c,d,e,f]*Department of Electrical Engineering, Universitas Cendrawasih Papua, Indonesia*
*Email: suparno@gmail.com[1], vosef.lefaan@.vahoo.com[2], ebet_i@yahoo.com[3], theresiawuri@gmail.com[4], afner_sinaga@ftuncen.ac.id[5], r.b.poernomo@gmail.com[6]*

ARTICLE INFO

*Article history:*
Received 4 September 2024
Received in revised form
18 September 2024
Accepted 10 October 2024
Available online 21 November 2024

*Keywords:*
Fault Tree Analysis
Keandalan distribusi listrik
Pemeliharaan jaringan distribusi
Suhu transformator
Transformator

ABSTRACT

In its effort to ensure stable and high-quality electricity supply, the State Electricity Company (PLN) faces the challenge of maintaining constant voltage amidst the increasing energy demand. This research employs field surveys and operational data collection to analyze the distribution system and detect disruptions and failures that may result from equipment damage, external interference, or human error. The Fault Tree Analysis (FTA) method reveals that transformers are experiencing overheating, with temperatures reaching 560°C to 600°C, far exceeding the PUIL standard limit of 450°C. The transformer failure rate at LBS Gapura Uncen is $6.9 \times 10^{-6}$, indicating a possibility of 7 failures in 1 million operating hours, whereas at the village office LBS, the failure rate is higher at $1.25 \times 10^{-5}$, suggesting 1 failure in 100,000 operating hours. For the Mawar feeder, the peak failure rate is $2.9 \times 10^{-6}$, indicating a peak failure likelihood of 3 times in 1 million operating hours. Based on these findings, it is recommended that PLN conduct regular transformer oil purification every 6 months and add an insert transformer (ABE050) at the village head office LBS to strengthen the resilience of the distribution network. By implementing routine maintenance and infrastructure improvements, PLN can enhance service quality and ensure a more reliable electricity supply for consumers.

## 1 Pendahuluan

Saat ini, kebutuhan akan tenaga listrik mengalami peningkatan, terutama karena semakin banyak orang yang menggunakan alat elektronik yang membutuhkan tegangan tetap. Dalam menghadapi hal ini, Perusahaan Listrik Negara (PLN) berusaha memberikan layanan yang memadai kepada konsumen dengan menyediakan sistem tenaga listrik yang memiliki mutu, kontinuitas, dan keandalan tinggi. Kestabilan dan konsistensi tegangan pada nilai yang sudah ditetapkan sangat penting dan bergantung pada keandalan sistem tenaga listrik dari sumber pembangkit sampai ke pelanggan.

Keandalan sistem distribusi listrik merupakan aspek kritis dalam memastikan pasokan energi yang stabil dan kontinu kepada konsumen. Dalam operasional sistem distribusi, gangguan dan kegagalan dapat terjadi karena berbagai alasan, seperti kerusakan peralatan, gangguan eksternal, atau kesalahan manusia. Setiap gangguan pada jaringan distribusi listrik dapat menyebabkan pemadaman listrik yang memengaruhi aktivitas ekonomi, kenyamanan masyarakat, dan keselamatan.

Untuk meminimalkan risiko gangguan dan meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik, diperlukan metode analisis yang efektif dalam mengidentifikasi potensi kegagalan serta menentukan akar penyebabnya. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam industri kelistrikan untuk analisis keandalan adalah Fault Tree Analysis (FTA).

## 2 Studi Literatur

Untuk mendistribusikan tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit kepada pelanggan, diperlukan jaringan yang disebut jaringan transmisi dan distribusi. Tantangan utama saat ini adalah mengalirkan tenaga listrik pada jarak yang cukup jauh dengan mutu yang baik dan biaya yang efektif. Secara keseluruhan, sistem distribusi tenaga listrik mencakup tiga bagian utama: pusat pembangkit, transmisi, dan distribusi.

### 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berfungsi sebagai komponen dalam sistem penyediaan energi yang menghubungkan gardu induk (bulk power substation) ke sistem pelayanan, yaitu bagian terakhir dari saluran distribusi yang terhubung langsung dengan instalasi pengguna daya.

### 2.2 Gardu Distribusi

Gardu penyaluran adalah elemen dalam sistem tenaga listrik yang bertugas untuk menyalurkan listrik dari sistem penyaluran ke konsumen. Setelah melewati jaringan tegangan menengah (JTM), jaringan tegangan rendah (JTR), dan sambungan rumah, tenaga listrik akan melalui alat pembatas daya dan kWh meter. Besar kecilnya penyaluran listrik kepada konsumen ditentukan oleh kebutuhan pengguna. Instalasi dalam sistem penyaluran meliputi:

- Gardu utama 20 kv
- Pusat penyaluran
- Jaringan menegah tegangan
- Gardu sambung/gardu penyaluran
- Distribusi tegangan
- Nara hubung

### 2.3 Laju *Kurva Kegagalan*

Alat, komponen, dan sistem dapat mengalami penurunan keandalan atau kegagalan dalam menjalankan fungsi operasionalnya setelah digunakan selama periode tertentu. Kegagalan ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keausan, korosi, dan beban yang terlalu tinggi. Karakteristik dari kegagalan atau keandalan suatu komponen diikuti oleh kurva yang disebut

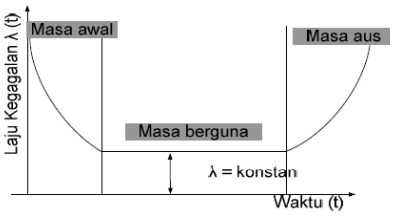
Corresponding Author:
Email Addresses: suparno@gmail.com



Doi:

Elsains: Jurnal Elektro
p-ISSN: 2527-6336 | e-ISSN: 2656-7075

"Bathtub curve." Untuk memperjelas hal ini, salah satu contoh kurva bathtub dapat dilihat pada Gambar 1.




***Gambar 1. Grafik tingkat kegagalan***

*Sumber : Hoang Pham, 2003*

Kecepatan ketidakberhasilan produk disamakan sebagai bentuk bak mandi. Bentuk tersebut, Tiga aspek utama yang esensial bisa dipisahkan. Tahap pertama dikenal sebagai area periode awal, yang dimulai dari pemakaian awal komponen. Laju kegagalan dalam tahap ini mengikuti distribusi Weibull dengan parameter bentuk _ < 1. Karakteristik laju kegagalan Weibull dijelaskan oleh Smith (1976).

$$\wedge(T) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{(T-y)}{\eta}\right)^{(\beta-1)} \quad (1)$$

dimana,

$T$ merujuk waktu operasi
β adalah parameter objek
η adalah parameter skala
γ adalah parameter lokasi

**Daerah yang kedua** Di grafik, area ini disebut sebagai wilayah periode operasi. Penyebab kegagalan elemen dalam wilayah ini meliputi beberapa hal berikut**:**

a. Tumpang tindih antara ” *strength*” dan ”*stress*” saat operasi;
b. Beban lebih;
c. Kesalahan dalam penggunaan;
d. Kesalahan yang dilakukan oleh manusia.

Dalam area ini, laju kegagalan elemen bersifat tetap, sehingga distribusi laju kegagalan berwujud eksponensial. Kemungkinan terjadinya kegagalan dirumuskan dalam sebuah persamaan:

$$P(T) = 1 - e^{(-\lambda T)} \quad (2)$$

Dimana:

P(T) adalah kemungkinan terjadinya kesalahan
λ T mewakili laju kesalahan
T adalah durasi kerja (jam)

**Daerah yang ketiga** Berdasarkan kurva, daerah ini disebut sebagai fase akhir, dan faktor penyebab kegagalan dalam kondisi ini antara lain adalah:

a. Faktor keausan:
b. Faktor kesinambungan;
c. Ketercapaian;
d. Karatan;
e. Kelemaham hidraulik listrik kimia mekanik,
f. Masalah dalam perawatan perbaikan pemeliharaan, atau penggantian

## 2.4 Kekuatan

Kepastian merujuk pada tingkat keberhasilan kinerja suatu jaringan atau segmen jaringan dalam menghasilkan hasil yang lebih baik dalam rentang waktu dan kondisi fungsional tertentu. Untuk menilai tingkat kepastian ini, diperlukan pemeriksaan melalui evaluasi dan perhitungan kinerja jaringan pada waktu tertentu, serta perbandingan dengan acuan yang telah ditentukan sebelumnya.

Kepastian dalam sistem tenaga listrik adalah kesinambungan dalam penyaluran distribusi listrik kepada pelanggan. Jika penyaluran tenaga listrik terputus atau tidak berjalan, hal ini dapat mengganggu proses produksi pelanggan besar. Struktur Jaringan Tegangan Menengah (JTM) memiliki peran penting dalam memastikan kepastian penyaluran tenaga listrik, karena JTM memungkinkan penyesuaian tegangan dengan mengidentifikasi lokasi gangguan dan memindahkan beban melalui jaringan lain.

## 2.5 Pohon *Kegagalan*

Fault Tree Analysis (FTA) Ini adalah teknik analisis kegagalan yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab potensial dari kegagalan dalam sistem yang kompleks. FTA dikembangkan pertama kali oleh Bell Telephone Laboratories pada tahun 1962 untuk digunakan dalam analisis keselamatan sistem rudal Minuteman. Sejak itu, FTA Telah diadopsi secara umum dalam berbagai disiplin, termasuk dalam industri kelistrikan, penerbangan, nuklir, dan manufaktur, sebagai alat untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem.

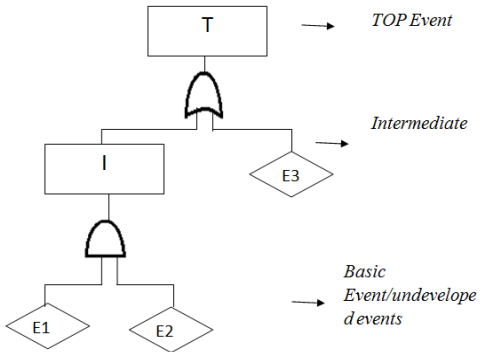
**Kemampuan untuk Menganalisis Sistem Kompleks:** FTA mampu menangani sistem yang sangat kompleks dengan banyak komponen yang saling berinteraksi.

**Keterbatasan:**

- **Ketergantungan pada Data yang Akurat:** Analisis kuantitatif memerlukan data probabilitas kegagalan yang akurat, yang mungkin sulit didapatkan.
- **Waktu dan Biaya:** Pembuatan dan analisis fault tree yang kompleks dapat memakan waktu dan biaya yang signifikan.

Metode FTA telah terbukti sebagai alat yang sangat efektif dalam meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem distribusi listrik, serta berbagai aplikasi industri lainnya.

FTA adalah metode yang mengaitkan elemen-elemen secara sinergis untuk membentuk suatu kejadian puncak. Pengidentifikasian kegagalan dalam jaringan dapat dilakukan dengan menggunakan informasi deskriptif dan angka. FTA menggunakan pendekatan “TOP DOWN,” dimulai dari tingkat jaringan teratas dan diteruskan ketingkat dasar. Pengorganisasian FTA diterapkan setelah hasil evaluasi terhadap jaringan, elemen, dan rangkaian diperoleh. Contoh bentuk pengorganisasian FTA adalah cara FTA dibentuk dengan menentukan peristiwa utama atau kejadian utama serta peristiwa susulan yang didahului oleh peristiwa dasar atau undeveload. Penggabungan dari suatu peristiwa mampu disusun menggunakan gerbang AND dan OR.




**Gambar 2.Minimal *cut set* pada *Faul tree***

Pintu AND sebanding dengan rangkaian paralel dalam diagram keandalan, sementara pintu OR sebanding dengan rangkaian seri dalam diagram keandalan, yang menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem.


Corresponding Author:
Email Addresses: suparno@gmail.com,
Doi:

**Hubungan Failure Rate dan MTTF (Mean Time to Failure)**

FR dan MTTF adalah dua cara penting dalam analisis keandalan sistem. Keduanya memiliki hubungan yang erat dan sering digunakan untuk memahami dan mengukur keandalan suatu komponen atau sistem.

**Laju Kegagalan (Failure Rate)**

Laju kegagalan adalah ukuran yang menggambarkan seberapa sering suatu komponen atau sistem mengalami kegagalan dalam satuan waktu. Laju kegagalan biasanya dinyatakan dengan simbol λ (lambda) dan diukur dalam satuan per jam, per hari, atau per tahun, tergantung pada konteksnya. Dalam banyak analisis, terutama pada fase operasional suatu sistem (fase ke-2 dari *Bathtub Curve*), laju kegagalan dianggap konstan. Hal ini menyederhanakan analisis dan memungkinkan perhitungan yang lebih mudah. Laju kegagalan λ (lambda) dapat didefinisikan sebagai:

$$\lambda = \frac{Jumlah\ kegagalan}{Total\ waktu\ operasional} \quad (3)$$

atau dalam konteks yang lebih formal,

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

di mana ***f(t)*** adalah peran penyebaran kepadatan kemunduran dan ***R(t)*** adalah fungsi ketahanan, yaitu probabilitas bahwa komponen masih berfungsi pada waktu ***(t).***

**Mean Time to Failure(MTTF)**

MTTF adalah angka tengah waktu yang diharapkan sebelum suatu komponen atau mekanisme mengalami kegagalan pertama kali. MTTF adalah ukuran keandalan yang memberikan gambaran tentang umur rata-rata suatu komponen sebelum mengalami kegagalan.

MTTF dihitung sebagai ekspektasi dari waktu kegagalan pertama kali. Jika distribusi waktu kegagalan $T$ diketahui, maka MTTF dapat dinyatakan sebagai:

$$MTTF = \int_0^\infty t \cdot f(t)\, dt \quad (5)$$

di mana ***f(t)*** adalah fungsi distribusi kepadatan waktu kegagalan.

**Hubungan Antara Laju Kegagalan dan MTTF**

Dalam kasus di mana laju kegagalan dianggap konstan, terdapat hubungan sederhana antara laju kegagalan $\lambda$ dan MTTF: MTTF dalam Sistem dengan Laju Kegagalan Konstan:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

Hubungan ini menunjukkan bahwa jika suatu komponen memiliki laju kegagalan yang rendah (yaitu, kegagalan jarang terjadi), maka MTTF-nya akan tinggi, yang berarti komponen tersebut cenderung bertahan lebih lama sebelum mengalami kegagalan. Hubungan ini menunjukkan bahwa jika suatu komponen memiliki laju kegagalan yang rendah (yaitu, kegagalan jarang terjadi), maka MTTF-nya akan tinggi, yang berarti komponen tersebut cenderung bertahan lebih lama sebelum mengalami kegagalan.

Hubungan antara laju kegagalan dan Mean Time to Failure (MTTF) sangat penting dalam memahami keandalan komponen dalam sistem kelistrikan dan mekanis. MTTF merupakan ukuran rata-rata waktu yang diperlukan sebelum suatu komponen mengalami kegagalan. Jika suatu komponen memiliki laju kegagalan yang rendah, artinya kegagalan terjadi jarang, maka MTTF-nya akan tinggi. Ini berarti komponen tersebut cenderung bertahan lebih lama sebelum mengalami kerusakan.

Keandalan komponen sangat bergantung pada kualitas material, desain, dan kondisi operasionalnya. Komponen yang dirancang dengan baik dan terbuat dari material berkualitas tinggi biasanya memiliki laju kegagalan yang rendah. Misalnya, dalam sistem kelistrikan, transformator dan pemutus sirkuit yang memiliki standar tinggi dalam proses manufaktur biasanya akan menunjukkan MTTF yang lebih baik, yang pada gilirannya mengurangi biaya pemeliharaan dan downtime.

## 3 Metodologi

### 3.1 Diagraam Alir Penelitian

**Gambar 3. Diagram alir penelitian**

Penelitian dilakukan mengikuti diagram alir, diagram Alir Penelitian seperti terlihat pada gambar 3.

### 3.2 Tempat riset

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero), khususnya pada UP-3 Jayapura, dengan fokus pada Penyulang Mawar. Lokasi ini dipilih karena relevansinya terhadap studi kegagalan komponen, terutama pada sistem kelistrikan.

### 3.3 Peralatan dan material

Peralatan dan material yang dipakai dalam kajian ini meliputi:

1. Laptop: Digunakan mengolah data, analisis, dan dokumentasi hasil penelitian.
2. Sensor Suhu Jarak Jauh: Alat ini digunakan untuk memantau suhu pada transformator dan komponen lain secara real-time, guna mengidentifikasi potensi risiko kegagalan.
3. Alat Ukur/Tang Amper: Dipakai untuk memantau arus listrik yang mengalir melalui transformator, sehingga dapat membantu dalam analisis kinerja dan efisiensi sistem.

### 3.4 Metode Akusisi Informasi

Dalam penelitian ini, data yang terkumpul dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

1. Data Primer:

Corresponding Author:
Email Addresses: suparno@gmail.com



Doi:

Elsains: Jurnal Elektro
p-ISSN: 2527-6336 | e-ISSN: 2656-7075

Data yang dikumpulkan secara langsung melalui observasi dan pengukuran di lapangan, termasuk pengukuran suhu dan arus pada transformator.

2. Data Sekunder:

Data yang diambil dari dokumentasi dan catatan yang telah ada, meliputi:

Data Transformator: Informasi mengenai spesifikasi dan kinerja transformator yang digunakan.

Data Perawatan Trafo dan Perbaikan: Catatan mengenai kegiatan pemeliharaan dan perbaikan yang telah dilakukan pada transformator.

Data Pemadaman Listrik: Informasi mengenai frekuensi dan durasi pemadaman listrik yang mungkin terkait dengan masalah pada transformator.

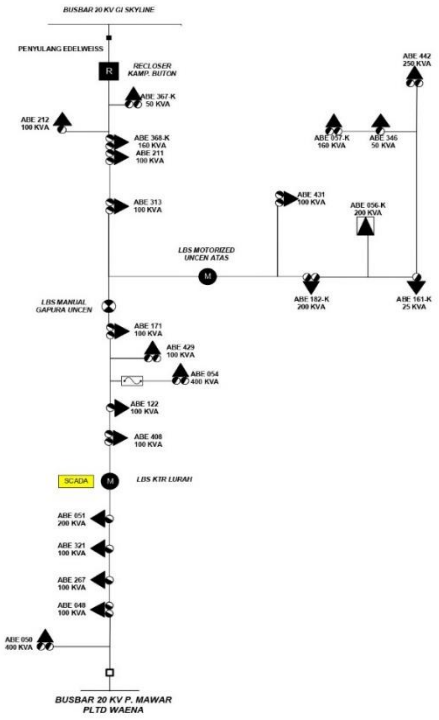
# 4 Pembahasan

## 4.1 Hasil Riset

Tahap ini adalah proses pengumpulan dan pengelolaan data. Informasi yang diperoleh terdiri dari informasi utama dan tambahan. Data utama dikumpulkan melalui observasi di lapangan dan salah satu trafo di Penyulang Merak telah dilakukan pengukuran, sementara info tambahan Data tersebut diperoleh langsung dari PT. PLN, Evaluasi informasi diproses dengan membuat tingkat kemunduran. Perangkat lunak yang digunakan Pengolahan data menggunakan Microsoft Visio dan Excel.

**Single Line Diagram Penyulang Mawar**

Gambar 4 di bawah ini menunjukkan Single Line Diagram Penyulang Mawar.




**Gambar 4. Garis Tunggal Skema Penyulang Mawar, UP-3 Jayapura**

*Sumber: PT.PLN -UP3-Jayapura 2023*

Gambar 4 ini adalah single line diagram dari Penyulang Mawar di UP-3 Jayapura, yang menggambarkan struktur sistem kelistrikan. Diagram ini menunjukkan sumber tegangan utama yang terhubung ke transformator, pemutus sirkuit, dan jaringan distribusi. Transformator menurunkan tegangan untuk digunakan oleh pelanggan, sementara pemutus sirkuit melindungi sistem dari gangguan. Jaringan distribusi memperlihatkan aliran listrik menuju konsumen akhir. Diagram ini krusial untuk perencanaan, pemeliharaan, dan pengoperasian sistem, mendukung pasokan listrik yang handal bagi masyarakat Jayapura.

## 4.2 Diskusi

### 4.2.1 Menetapkan MTTF

Untuk mengukur tingkat keandalan setiap trafo, Langkah-langkah yang dapat dilakukan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Trafo: Trafo dengan kode ABE 050 400 kVA dipasang pada tahun 1999. Perawatan terakhir dilakukan pada 1 Maret 2021.
2. Perhitungan Umur Trafo: Umur total trafo estimasi 1.000.000 jam dengan tingkat operasional 60%, sehingga masa operasional yang sebenarnya adalah 600.000 jam.
3. Masa Pemakaian: Masa pemakaian trafo hingga saat ini adalah 22 tahun dan 4 bulan, yang setara dengan 194.160 jam operasional.
4. Sisa Umur Trafo: Sisa umur trafo dapat dihitung sebagai berikut:

$$Sisa\ Umur = 600.000 - 194.160 = 405.840\ jam$$

5. Tingkat Keandalan Sisa Masa Pakai: Dengan sisa umur 405.840 jam, tingkat keandalan sisa masa pakai trafo dapat ditentukan berdasarkan sisa jam operasional yang tersedia.

Dengan analisis ini, dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai keandalan trafo dan perencanaan pemeliharaan yang lebih tepat.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{405.840} = 0{,}0000025 = 2{,}5e^{-6}$$

Dengan demikian, derajat kekuatan trafo yang ada adalah 2,5e^6, yang berarti dalam operasi selama 1.000.000 jam, trafo tersebut diperkirakan akan mengalami kegagalan sebanyak 2 kali. Untuk perhitungan analisa data pada masing-masing trafo di penyulang Mawar dapat dilihat pada tabel 4.5. keandalan masing-masing trafo di penyulang Mawar.

**Tabel 1. Keandalan masing-masing trafo, penyulang Mawar**

| NO | GARDU Kode ABE | kapasitas trafo (KVA) | Pasang Trafo Tahun | $\lambda = \frac{1}{MTTF}$ | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 050 | 400 | 1999 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 2 | 048 | 100 | 1999 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 3 | 267 | 100 | 1997 | 0,0000026 | $2{,}6e^{-6}$ |
| 4 | 321 | 100 | 1998 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 5 | 051 | 200 | 1999 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 6 | 408 | 100 | 1998 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 7 | 122 | 100 | 1995 | 0,0000027 | $2{,}7e^{-6}$ |
| 8 | 054 | 400 | 1995 | 0,0000027 | $2{,}7e^{-6}$ |
| 9 | 429 | 100 | 1998 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 10 | 171 | 100 | 1998 | 0,0000026 | $2{,}6e^{-6}$ |
| 11 | 182-k | 200 | 2012 | 0,0000019 | $1{,}9e^{-6}$ |
| 12 | 161-k | 25 | 2011 | 0,0000020 | $2e^{-6}$ |
| 13 | 056-k | 200 | 2010 | 0,0000020 | $2e^{-6}$ |
| 14 | 431 | 100 | 2000 | 0,0000024 | $2{,}4e^{-6}$ |
| 15 | 057 | 100 | 2000 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 16 | 346 | 50 | 1999 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 17 | 442 | 250 | 1998 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 18 | 313 | 100 | 1998 | 0,0000026 | $2{,}6e^{-6}$ |
| 19 | 211 | 100 | 1998 | 0,0000025 | $2{,}5e^{-6}$ |
| 20 | 368-k | 160 | 2009 | 0,0000020 | $2e^{-6}$ |
| 21 | 212 | 100 | 2010 | 0,0000020 | $2e^{-6}$ |
| 22 | 367-k | 50 | 2007 | 0,0000021 | $2{,}1e^{-6}$ |

Tabel 1 menyajikan data keandalan masing-masing trafo yang terpasang di Penyulang Mawar. Informasi dalam tabel ini mencakup beberapa aspek penting, seperti kode trafo, kapasitas, tahun pemasangan, total jam operasional, serta sisa umur dan tingkat keandalan setiap trafo.

Setiap trafo diidentifikasi dengan kode unik, yang memudahkan pemantauan dan perawatan. Kapasitas trafo, dinyatakan dalam kVA, menunjukkan kemampuan trafo dalam

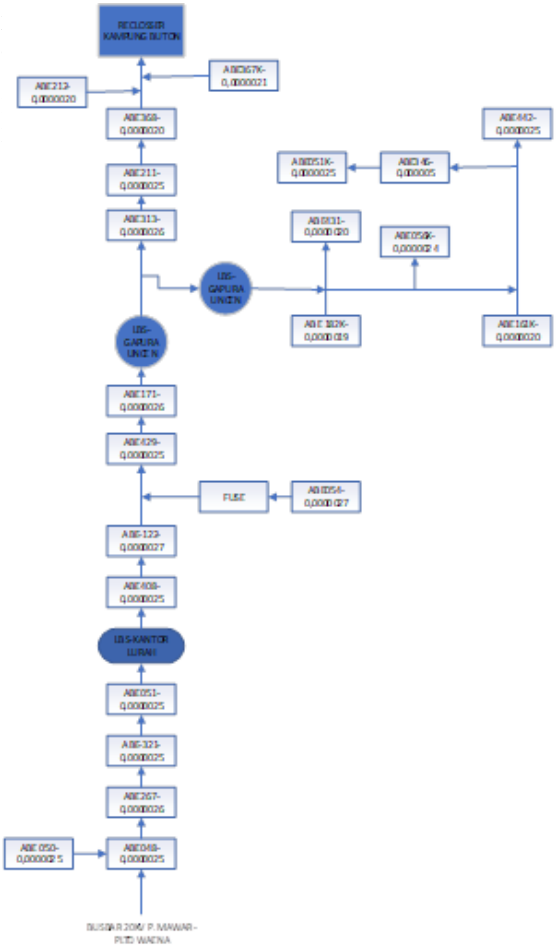


Corresponding Author:
Email Addresses: suparno@gmail.com,

Doi:

mendistribusikan listrik. Tahun pemasangan memberikan konteks mengenai umur fisik trafo, sedangkan total jam operasional mencerminkan penggunaan aktual sejak dipasang.

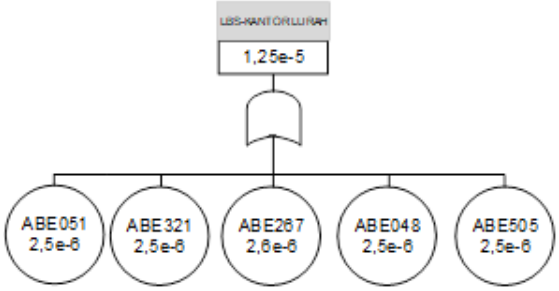
Sisa umur trafo dihitung berdasarkan estimasi umur total dan jam operasional yang telah digunakan, memberikan gambaran tentang berapa lama lagi trafo tersebut dapat diandalkan. Tingkat keandalan yang tercantum menunjukkan performa trafo dalam mendukung sistem kelistrikan, penting untuk perencanaan



**Gambar 5. Ilustrasi single diagram, dengan metode kuantiitatf**

### 4.2.3 AnalisaPohon Kegagalan Trafo-TOP Event

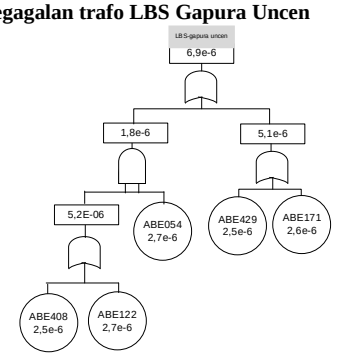
Dengan menerapkan analisis perhitungan sebagai berikut: Perhitungan dilakukan dari bawah ke atas mengikuti alur skema




**Gambar 6. Pohon kegagalan trafo Kantor Lurah**

λ =1,25e-6, Artinya dalam operasional 100.000 jam, mengalami kegagalan trafo pada puncak LBS kantor lurah 1 kali gagal. Λ

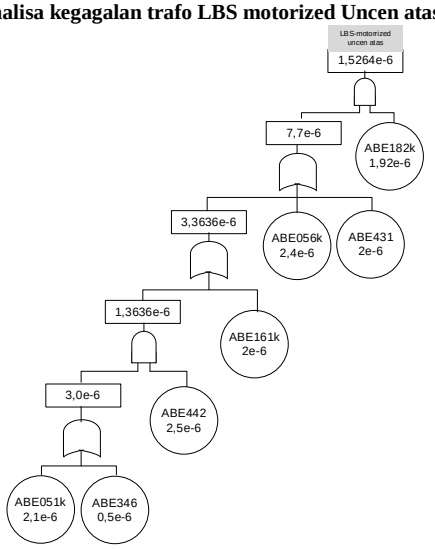
**2. Analisa kegagalan trafo LBS Gapura Uncen**




**Gambar 7. Pohon kegagalan trafo gapura uncen**

λ =6,95e-6, Artinya bekerja selama 1.000.000 jam, mengalami kerusakan trafo pada puncak LBS kantor lurah 7 kali gagal.

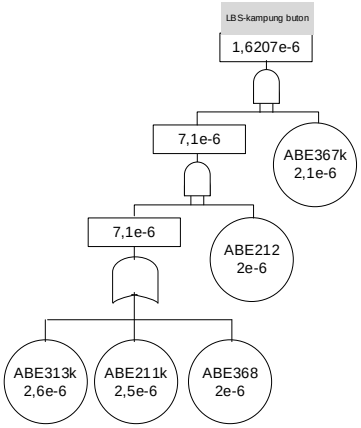
**3. Analisa kegagalan trafo LBS motorized Uncen atas**




**Gambar 8. Pohon kegagalan trafo Motorized Uncen**

λ =1,524e-6, Artinya bekerja selama 1.000.000 jam, mengalami malfungsi trafo pada puncak LBS kantor lurah 1 kali gagal.

**4. Analisa kegagalan trafo RECLOSER Kampung buton (skaylane)**




**Gambar 9. Pohon kegagalan trafo Reclosser**

λ =1,6207e-6, Artinya telah menempuh 1.000.000 jam, terjadi kerusakan trafo pada puncak LBS kantor lurah 2 kali gagal

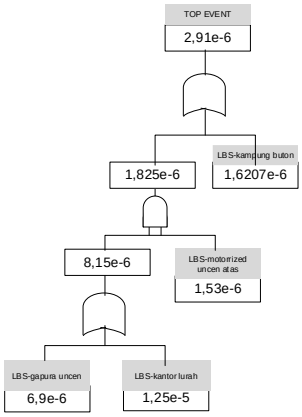
Corresponding Author:
Email Addresses: suparno@gmail.com



Doi:

Elsains: Jurnal Elektro
p-ISSN: 2527-6336 | e-ISSN: 2656-7075

#### 4.2.4 Kejadian Puncak Kegagalan Tarafo Pada Penyulang Mawar




*Gambar 10. Pohon kegagalan trafo Penyulang Mawar*

λ =2,91e-6, Artinya selama 1.000.000 jam, terjadi ketidakberhasilan trafo pada puncak LBS penyulang mawar 3 kali gagal

Dari kejadian puncak pohon kegagalan trafo pada penyulan mawar memberikan nilai sebesar 3 kali kegagal trafo, dalam 1.000.000, JAM, dapat dikatakan katakana layak selama pengoperasian karena memiliki waktu yang cukup lama

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa data yang dilakukan, sehingga dapat di tarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyebab kegagalan trafo dikarenakan beban yang lebih, terbukti dengan saat pengukuran bodi panas trafo yang rata-rata pada outpunya memilki panas berkisar $56^0$c s//d $60^0$c, meurut (PUIL batas standar panas trafo $45^0$c).
2. Kegagalan trafo pada masisng- LBS Gapura Uncen memberikan nilai yang terendah yaitu 6,9e-6 yang aka nada kemungkinan kegagalan trafo 7 kali gagal dalam operasional 1.000.000 Jam, dan kegagalan trafo yang tertinggi terjadi pada LBS kantor lurah yaitu sebesar 1,25e-5 dalam operasional 100.000 jam akan mengalami gagal sebanyak 1 kali.
3. Kejaadian Puncak TOP event pada penyulang mawar memberikan nilai yaitu sebesar 2,9e-6 yang artinya akan mengalami kegagala npuncak tidak ada daya listrik sebanyak 3 kali dalam opersaional 1juta jam.

### 5.2 Saran

Dari beberapa kesimpulan diatas maka dapat disarankan sebagai berikut:

1. Perlu adanya purifikasi pada minyak trafo minimal 6 bulan sekali agar tidak terjadi kegagalan trafo dalam menyuplai daya listrik
2. Perlu adanya penambahan Trafo sisipan (ABE050) di LBS kantor lurah pada jaringan distribusi area perumnas 2 dalam

## Kontribusi Penulis

Kontribusi masing-masing penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Konseptualisasi, Penulis 1 dan Penulis 2; metodologi, Penulis 1; perangkat lunak, Penulis 3; validasi, Penulis 2, Penulis 4, dan Penulis 5; analisis formal, Penulis 1; investigasi, Penulis 4; sumber daya, Penulis 3; kurasi data, Penulis 5; penulisan—persiapan draf asli, Penulis 1; menulis—meninjau dan mengedit, Penulis 2; visualisasi, Penulis 3; pengawasan, Penulis 5; administrasi proyek, Penulis 4; perolehan pendanaan, Penulis 2. Setiap penulis telah memberikan kontribusi signifikan dalam penelitian ini, memastikan keberhasilan dan kualitas hasil yang dilaporkan.

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada PT. PLN (Persero) UP3 Jayapura atas dukungan dan layanan yang luar biasa. Kerja keras tim Anda dalam menyediakan data-data di lapangan yang akurat dan tepat waktu sangat kami hargai. Semoga kerjasama ini terus berlanjut dan membawa manfaat bagi masyarakat serta perkembangan ekonomi di wilayah kami..

## Referensi

[1] A. Artono, *Teknik Tegangan Tinggi*, Cetakan Kedelapan, Penerbit Padnya Paramita, Jakarta, 2007.
[2] B. S. Dhillon, *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*, CRC Press, 2017.
[3] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed., Springer, 1996.
[4] C. A. Ericson, *Fault Tree Analysis Primer*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015.
[5] I. D. German and S. Blackman, *Human Reliability and Safety Analysis Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2009.
[6] Hoang Pham, Ph.D., *Handbook of Reliability Engineering*, Rutgers University, New Jersey, USA, 2003.
[7] IEEE, *Guide for Safety in AC Substation Grounding*, The Institute of Electrical Engineers, New York, NY, 2002.
[8] IEC 61025, "Fault Tree Analysis (FTA)," International Electrotechnical Commission (IEC), 2006.
[9] J. S. D. Smith, *Reliability, Maintainability and Risk*, 6th ed., British Library Cataloguing in Publication Data, 2001.
[10] J. H. Bickel, D. L. Kelly, and T. J. Leahy, "Draft of Fundamentals of Probabilistic Risk Assessment (PRA)," EG & G, Inc., Idaho, 1994.
[11] Jatmiko and Hasym, "Perbaikan Tegangan untuk Konsumen," Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2003.
[12] P. M. Kaufmann and T. Ziegler, "Reliability Analysis of Electrical Distribution Systems Using Fault Tree Analysis," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 2, pp. 676-683, 2014.
[13] K. Abdul, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2000.
[14] Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta, 1990.
[15] P. D. T. O'Connor, *Practical Reliability Engineering*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 2006.
[16] M. Rausand and A. Høyland, *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*, 2nd ed., Wiley-Interscience, 2004.
[17] S. K. Roy and K. Bhattacharya, "Application of Fault Tree Analysis for Reliability Assessment of Power Distribution Systems," in *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 2012, pp. 1-6.
[18] J. Simhombing, "Pusdiklat Energi dan Ketenagalistrikan PLN," Jakarta, 2000.
[19] SNI 04-6954.2-2004, "Transformator Tenaga-Bagian 2: Kenaikan Suhu," Badan Standar Nasional.
[20] P. D. Priyatana, "Keandalan dan Perawatan," Jurusan Teknik Perkapalan ITS, Surabaya, 2000.


Corresponding Author:
Email Addresses: suparno@gmail.com,
Doi: