

# Analisis Keandalan Transformator Diagram Segaris Penyulang Merpati Menggunakan Metode Mean Time to Failure (MTTF)

Suparno

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Cendrawasih Jaya Pura  
Jl. Kamp Wolker, Jl. Kambolker Perumnas III, Jayapura, Papua  
Telp: (0967) 572118  
E-mail: suparnonoks@gmail.com

## ABSTRAK

Dengan berkembangnya taraf hidup masyarakat pedesaan di Jayapura, maka keandalan sistem distribusi primer sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Oleh karena keandalan jaringan distribusi primer yang masih rendah di UPL (Unit Pelayanan Listrik) Yarmokh, akan diperbaiki dengan ditematkannya sebuah Gardu Induk Sisipan untuk membagi luas daerah pelayanan. Gardu Induk Sisipan sangat dimungkinkan dibangun mengingat jaringan transmisi 150 kV telah beroperasi. Jaringan transmisi tersebut menggunakan material Aktiva Tetap Tidak Bergerak (ATTB) yang tersedia di PLN. Penelitian ini bertujuan membandingkan keandalan jaringan distribusi primer sebelum dan sesudah pemasangan gardu induk sisipan agar dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk meningkatkan keandalan pada sistem tersebut. Berdasarkan kedua metoda perhitungan didapatkan hasil nilai SAIDI pada masing-masing penyulang masih sesuai dengan standart PLN sebesar 4,364 jam/tahun dan untuk hasil nilai SAIFI pada masing-masing penyulang masih sesuai dengan standart PLN sebesar 1,199 jam/tahun.

*Kata Kunci:* distribusi, gardu induk, keandalan

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dimasa ini kebutuhan akan tenaga listrik terus meningkat, semakin banyak masyarakat yang menggunakan peralatan elektronik, dimana peralatan elektronik menghendaki tegangan yang konstan. maka hal tersebut menimbulkan suatu pemikiran yaitu bagaimana Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pengelola listrik berusaha memberikan pelayanan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan cara menyediakan sistem tenaga listrik yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi, dimana hal ini dapat dicapai apabila sistem tenaga listrik itu mempunyai tegangan yang stabil dan konstan pada nilai yang sudah ditentukan, bergantung pada keandalan sistem tenaga listrik yang di mulai dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban[1]–[3]. Dengan pertimbangan tersebut maka transformator daya 70/20 kV pada gardu induk yang merupakan transformator yang letaknya dekat dengan pusat beban harus selalu dapat menyalurkan tenaga listrik dengan suatu nilai tegangan yang dapat diatur konstan pada sisi sekundernya. Untuk mempertahankan nilai tegangan keluaran pada sisi sekunder sebesar 20 kV, maka digunakan pengubah sadapan (tap changer) yang dipasang pada transformator daya 150/20 kV dan bekerja secara otomatis terhadap setiap perubahan tegangannya yang disebabkan oleh jatuh tegangan karena adanya perubahan beban dan rugi hantaran[4]–[6]. Sehingga perlu adanya analisis

perhitungan dalam yang menyebabkan terjadinya kegagalan trafo dalam mendistribusikan sumber tegangan listrik pada diagram segaris (single line diagram) dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas tegangan diujung penyulang.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penyaluran tenaga listrik

Penyampaian tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik kepada pelanggan memerlukan jaringan penghubung yang biasa disebut jaringan transmisi dan jaringan distribusi. masalahnya sekarang ialah bagaimana penyaluran tenaga listrik tersebut pada jarak yang cukup jauh sampai ke pelanggan dengan mutu yang baik dan ekonomis. secara umum sistem pendistribusian tenaga listrik terdiri dari tiga unsur, yaitu : pusat pembangkit, transmisi, dan distribusi[7].

### 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi merupakan bagian sistem penyalur daya mulai dari gardu induk (bulk power substation) sampai ke sistem pelayanan (service) yaitu ujung saluran jaringan distribusi yaitu langsung dihubungkan dengan instalasi konsumen atau pemakai daya[8].

### 2.3 Gardu distribusi

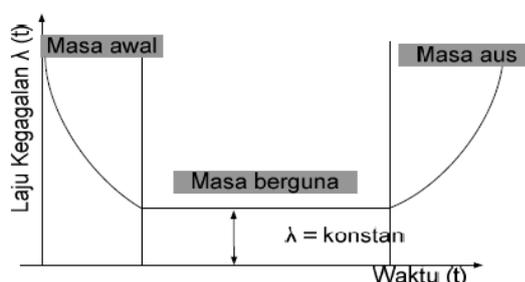
Gardu distribusi adalah suatu distribusi sistem tenaga listrik yang melayani distribusitenaga listrik

dari sistem penyaluran sampai kepada konsumen. Setelah tenaga listrik melalui jaringan tegangan menengah (JTM), jaringan tegangan rendah (JTR) dan sambungan rumah, maka tenaga listrik selanjutnya melalui alat pembatas daya dan kWh meter. Besar kecilnya suatu pendistribusian listrik kepada konsumen ditentukan oleh kebutuhan pelanggan [9]–[12]. Instalasi sistem distribusi meliputi :

- Gardu induk sisi 20 kv (switch gear 20 kv)
- Pusat pengatur distribusi (dcc) saat ini APD/UPD
- Jaringan tegangan menengah (SUTM/SKTM)
- Gardu hubung/gardu distribusi
- Jaringan tegangan rendah (SUTR/SKTR)
- Sambungan pelayanan (alat pengukur dan pembatas/app).

## 2.4 Kurva laju kegagalan

Alat, komponen, dan sistem dapat dialami penurunan keandalan atau mengalami kegagalan untuk melaksanakan fungsi operasi apabila telah digunakan dalam suatu periode tertentu. Kegagalan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor antara lain keausan, korosif, beban yang berlebih. Karakteristik kegagalan atau keandalan dari suatu komponen mengikuti suatu kurva yang disebut “Bathtub curve” [13]–[15]. Salah satu contoh kurva bathtub diberikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kurva laju kegagalan ideal

Laju kegagalan suatu produk dapat digambarkan seperti bak mandi. Dari kurva tersebut dapat dibedakan tiga daerah yang sangat penting.

Daerah yang pertama disebut sebagai daerah periode awal yang dimulai dari penggunaan awal komponen. Laju kegagalan pada periode awal suatu komponen mengikuti distribusi Weibull dengan parameter bentuk  $\beta < 1$ . Karakteristik laju kegagalan Weibull dinyatakan dengan (Smith, 1976) :

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

dengan,

T adalah waktu operasi (jam)

$\beta$  adalah parameter bentuk

$\eta$  adalah parameter skala

y adalah parameter lokasi

Daerah yang kedua pada kurva disebut sebagai daerah periode operasi. Kegagalan

komponen pada daerah ini disebabkan oleh beberapa faktor berikut ini :

- a. Interferensi atau overlap ” strength” dan ”stress” selama operasi;
- b. Beban yang berlebih;
- c. Kesalahan pemakaian;
- d. Kesalahan manusia.

Pada daerah tersebut laju kegagalan komponen konstan, sehingga distribusi laju kegagalan merupakan bentuk eksponensial. Probabilitas kegagalan diberikan dalam persamaan:

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

Dengan:

P(T) adalah probabilitas kegagalan

$\lambda$  T adalah laju kegagalan

T adalah waktu operasi (jam)

Daerah yang ketiga dari kurva merupakan daerah yang disebut periode akhir, penyebab kegagalan dari kondisi ini antara lain :

- a. Faktor penuaan;
- b. Faktor pemakaian yang terus menerus;
- c. Kelelahan;
- d. Korosi;
- e. Kelemahan mekanik, listrik, kimia atau hidraulik;
- f. Kekurangan pada pemeliharaan, perawatan/perbaikan, atau penggantian

## 2.5 Keandalan

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan melalui perhitungan maupun analisis terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya.

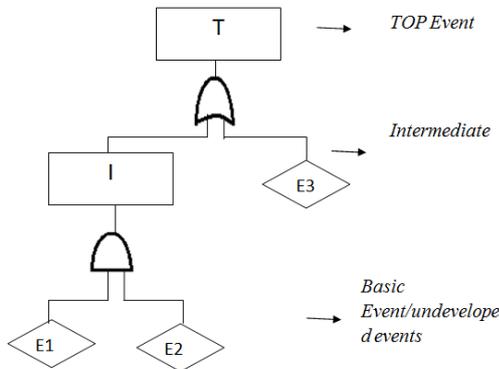
Keandalan sistem tenaga listrik merupakan suatu kontinuitas penyaluran distribusi listrik kepada pelanggan. Apabila penyaluran tenaga listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu. Struktur Jaringan Tegangan Menengah (JTM) memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik, karena JTM memungkinkan dapat melakukan manuver tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya [16]–[18].

## 2.6 Pohon kegagalan

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan rangkaian yang menghubungkan antara komponen yang tersusun secara berhubungan yang membentuk suatu kejadian puncak. Identifikasi kegagalan suatu sistem dapat dilakukan dengan memanfaatkan data kualitatif

maupun kuantitatif. FTA berorientasi pada fungsi “TOP DOWN” APPROACH, karena analisa berawal dari sistem level top dan meneruskannya ke bawah[19], [20].

Penyusunan FTA dilakukan setelah ada hasil kajian sistem, komponen dan rangkaian. Bentuk dari penyusunan FTA misalnya,



Gambar 2. *Fault tree* untuk minimal cut set.

Susunan FTA di bentuk dengan menentukan kejadian sistem atau kejadian puncak dan intermediate event yang didahului dengan basic event atau undeveloped. Kombinasi suatu event dapat dirangkai dengan gerbang AND dan OR.

Gerbang AND identik dengan rangkaian paralel dalam diagram keandalan. Sedangkan gerbang OR identik dengan rangkaian seri dalam diagram keandalan.

### 2.7 Hubungan Laju Kegagalan dan MTTF

Definisi laju kegagalan (Failure Rate) adalah jumlah terjadinya kegagalan per satuan waktu, atau dapat juga dinyatakan dengan pemakaian istilah Mean Time To Failure (MTTF), maksud dari MTTF disini yaitu rata-rata waktu kegagalan komponen (item) yang tidak dapat diperbaiki, menurut George D Dieter hubungan failure rate dan MTTF adalah :

Failure rate (laju kegagalan) = 1/MTTF, failure rate biasanya dinotasikan sebagai  $\lambda$  (lamba). Sebagai ilustrasi misalkan sebuah komponen mempunyai MTTF = 3,5. [10] ^6jam, bila komponen tersebut dioperasikan rerata 24 jam, maka perhitungan laju kegagalan ( $\lambda$ ) dapat dilakukan sebagai berikut :

$$(\lambda) = 1/MTTF = 1/3,500,000 \text{ jam}$$

$$(\lambda) = 0.000000286 \text{ failure/jam}$$

$$(\lambda) = 0.000286 \text{ failure/1000 jam}$$

$$(\lambda) = 0,0286\%/1000 \text{ jam-jika satu tahun}$$

$$8760 \text{ jam}$$

$$(\lambda) = 0.25\%/tahun.$$

### 2.8 MTTF

Keandalan yang berhubungan dengan perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) dapat dilakukan seperti pada contoh perhitungan MTTF.

Untuk melakukan perhitungan MTTF terlebih dahulu menentukan jumlah jam operasi untuk masing-

masing komponen dan dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$MTTF = \frac{\Sigma \text{ jam}}{S_0}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

$$MTTF \text{ susunan seri } \lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2$$

$$MTTF \text{ susunan paralel } \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$$

Keterangan :

$\Sigma$  jam = jumlah jam

A = jumlah hari dalam 1 (satu) bulan.

24 = jumlah dalam 1 (satu) hari.

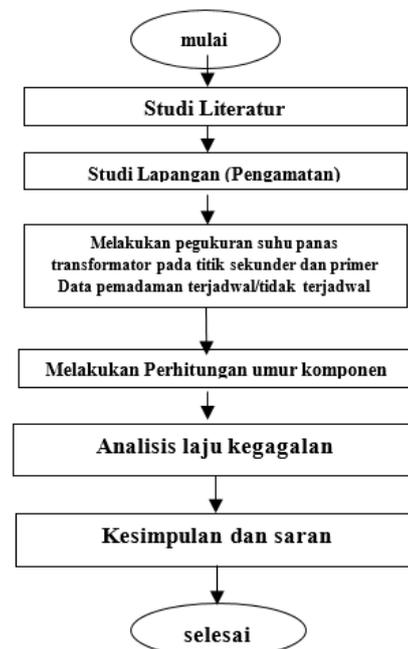
$\Sigma_{failure}$  = jumlah komponen gagal (komulatif), ditambah jumlah komponen yang gagal.

MTTF = rata-rata kegagalan komponen dalam satuan jam, jumlah komponen gagal (komulatif) berbanding dengan jumlah jam (waktu)[21]–[23].

$$(\lambda) \text{ laju kegagalan} = \frac{1}{MTTF}$$

## 3. METODE PENELITIAN

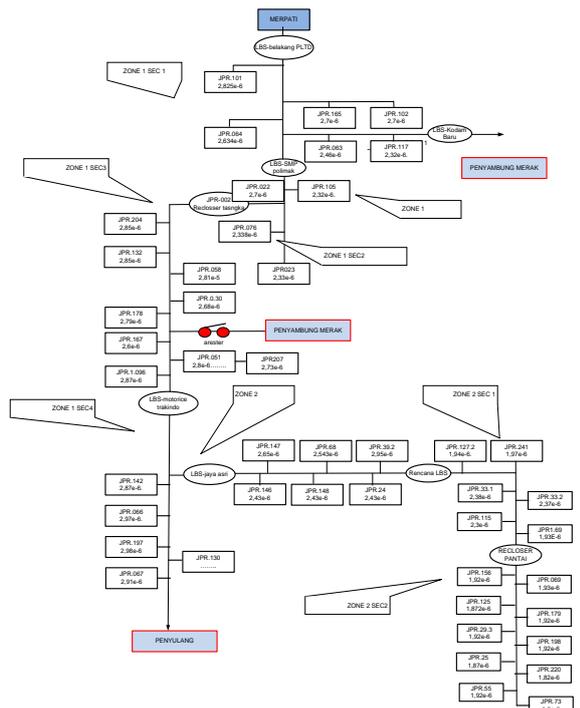
### 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian diawali dengan pengumpulan literatur dari hal yang terkait. Pengamatan dilakukan dilapangan untuk mendapatkan permasalahan yang sesungguhnya, melakukan pengukuran terhadap objek dengan variabel data yang dibutuhkan. Berikutnya melakukan perhitungan matematis terhadap umur komponen, dilanjutkan dengan analisa, mendapatkan kesimpulan dan saran.





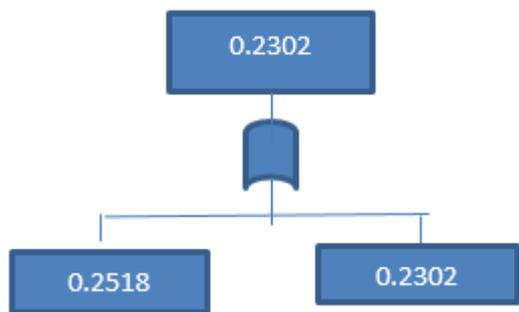
Gambar 5. Ilustrasi Kuantitatif Single Line Diagram Penyulang merpati

**c. Analisa Pohon Kegagalan Trafo**

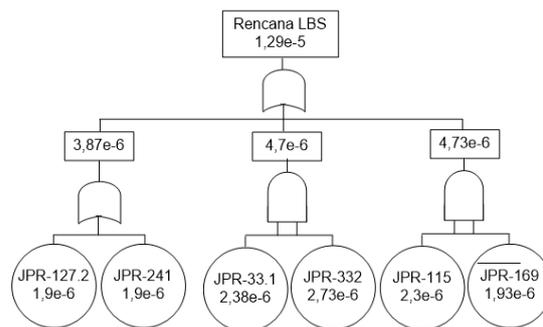
Dengan menggunakan analisis perhitungan sebagai berikut:

Perhutngan dimulai dari bawah keatas mengikuti alur diagram segaris, baik berbentuk seri maupun parallel, Contoh:

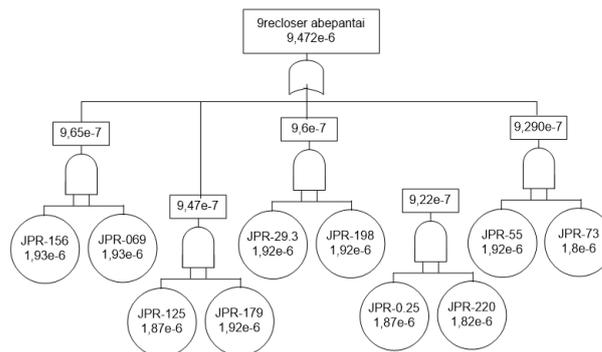
Nilai kuantitatif trafo, yang seri dijumlahkan:  
 Dalam perhitungan pohon kegagalan menggunakan gerbang OR (+)  
 $0.4100 + 0.4246 + 0.2494 + 0.3954 + 0.2202 + 0.2786 = 2.2302$  Paralel =  $0.2518$   
 Sehingga hasil paralel sebagai berikut



Gambar 6. Contoh Analisa pohon Kegagalan



Gambar 6. Rencana Lbs



Gambar 7. Recloser pantai

Keterangan:

Gambar a: Kejadian puncak tidak ada daya listrik di rencana LBS memberikan keandalan trafo pada TOP event yaitu sebesar 1,29e-5, yang artinya dalam operasional 100.000 JAM akan terjadi kegagalan trafo sebanyak 12 trafo, namun bila operasional 10.000 JAM ada kegagalan trafo sebanyak 1 trafo

Gambar b: Kejadian puncak tidak ada daya listrik di recloser pantai memberikan keandalan trafo pada TOP event yaitu sebesar 9,47e-6 yang artinya dalam operasional 1.000.000 JAM akan terjadi kegagalan trafo sebanyak 1 trafo.

**6. KESIMPULAN DAN SARAN**

**6.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis perhitungan data disimpulkan, kejadian puncak kegagalan trafo dalam operasional sebesar 1,12e-5 yang artinya dalam operasional 100.000 jam akan mengalami kegagalan sebanyak 11 kali kegagalan tidak adanya daya listrik. Operasional umur trafo sebanyak 44 unit, kegagalan masing-masing trafo memberikan nilai rata-rata dalam operasional 1.000.000 JAM mi kegagalan dalam opsional 2 kali gagal, dapat di katakan layak beroperasi.

**6.2 Saran**

Untuk meningkatkan umur trafo, agar lebih lama dalam operasional perlu adanya perawatan dan perbaikan atau furifikasi minyak trafo secara berkala sehingga mendapatkan hasil yang maksimal, keandalan pada suatu jaringan listrik masing-masing

trafo dianjurkan dapat memberikan nilai 10 e-5, artinya operasional dalam 100.000 jam baru mengalami kegagalan dalam pendistribusian listrik.

## PUSTAKA

- [1] A. Ali, D. Setiawan, and U. Situmeang, 'ANALISIS KEANDALAN TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA MENGGUNAKAN METODE DISTRIBUSI WEIBULL', p. 6, 2019.
- [2] A. A. Prabowo, 'ANALISA KEANDALAN TRANSFORMATOR GARDU INDUK WILAYAH SURABAYA MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO', *Undergraduate Thesis of Electrical Engineering, RSE 621.314 Pra a, 2011*, Jul. 2011, Accessed: Dec. 18, 2021. [Online]. Available: <http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-3100011044146/15898>
- [3] Y. B. J. Manurung, 'Studi Analisis Keandalan dan Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk Denai Pt.Pln Persero', 2021, Accessed: Dec. 18, 2021. [Online]. Available: <https://repository.usu.ac.id/handle/123456789/32467>
- [4] H. Pardamean, 'STUDI ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DAYA DI PLTA PT. WAMPU ELECTRIC POWER (WEP)', Sep. 2019, Accessed: Dec. 18, 2021. [Online]. Available: <http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/3244>
- [5] *KAJIAN EFISIENSI TRANSFORMATOR DAYA TERHADAP PERUBAHAN BEBAN DI GARDU INDUK SERPONG PT.PLN (PERSERO) | Perpustakaan*. Accessed: Dec. 18, 2021. [Online]. Available: [http://library.iti.ac.id/opac/index.php?p=show\\_detail&id=80212&keywords=](http://library.iti.ac.id/opac/index.php?p=show_detail&id=80212&keywords=)
- [6] M. Fadhliyansyah, 'ANALISIS PERHITUNGAN RUGI-RUGI TRANSFORMATOR AKIBAT HARMONISA (STUDI KASUS GARDU DISTRIBUSI SMTI PONTIANAK)', p. 11.
- [7] T. Timotius, 'MAKALAH JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK', Accessed: Dec. 18, 2021. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/22787117/MAKALAH\\_JARINGAN\\_DISTRIBUSI\\_TENAGA\\_LISTRIK](https://www.academia.edu/22787117/MAKALAH_JARINGAN_DISTRIBUSI_TENAGA_LISTRIK)
- [8] F. F. S. Lihawa, I. H. Tumaliang, and S. Silimang, 'PERENCANAAN JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 20KV DI UNIVERSITAS SAM RATULANGI', p. 14.
- [9] 'Makalah Gardu Distribusi | PDF', *Scribd*. <https://id.scribd.com/document/414155333/makalah-gardu-distribusi-docx> (accessed Dec. 18, 2021).
- [10] C. Wang *et al.*, 'An evaluation method for power supply capacity of distribution system', in *2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, Apr. 2008, pp. 1244–1248. doi: 10.1109/DRPT.2008.4523597.
- [11] L. Zhihong, Z. Jie, F. Min, and S. Ming, 'Design and implementation of visualized multi-dimensional integrated management platform for switching substation (power distribution room)', in *2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Aug. 2016, pp. 1–5. doi: 10.1109/CICED.2016.7576069.
- [12] Y. Tong, H. Zhang, L. Jing, and X. Wu, 'Flexible substation and its control for AC and DC hybrid power distribution', in *2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, May 2018, pp. 423–427. doi: 10.1109/ICIEA.2018.8397754.
- [13] R. W. Smith and D. L. Dietrich, 'The bathtub curve: an alternative explanation', in *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, Jan. 1994, pp. 241–247. doi: 10.1109/RAMS.1994.291115.
- [14] E. E. Lewis and H.-C. Chen, 'Load-capacity interference and the bathtub curve', *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 43, no. 3, pp. 470–475, Sep. 1994, doi: 10.1109/24.326448.
- [15] A. Hromádka and Z. Martinek, 'Usability Assessment of Mathematical Models of the Bathtub Curve', in *2019 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, May 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/EPE.2019.8778149.
- [16] C.-T. Su, J.-J. Wong, and C.-J. Fan, 'System and Load Points Reliability Evaluation for Electric Power Systems', in *2007 1st Annual IEEE Systems Conference*, Apr. 2007, pp. 1–7. doi: 10.1109/SYSTEMS.2007.374678.
- [17] N. V. Savina, Y. V. Myasoedov, and L. A. Myasoedova, 'Influence of Quality of the Electric Energy on Reliability of Electrical Supply Systems', in *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, Oct. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602690.
- [18] B. Bousshoua, A. Elmaouhab, and A. Chehri, 'Reliability Analysis of Electrical Power System Analyse de la Fiabilité des Réseaux de Production- Transport d'Énergie Électrique', in *2018 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)*, Oct. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/CISTEM.2018.8613447.
- [19] X. Shi and A. M. Bazzi, 'Fault tree reliability analysis of a micro-grid using Monte Carlo simulations', in *2015 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)*, Feb. 2015, pp. 1–5. doi: 10.1109/PECL.2015.7064928.
- [20] J. M. Chen, T. S. Bi, and M. Sun, 'Study on quality risk assessment for power transformer based on fault tree analysis', in *2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Aug. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/CICED.2016.7576091.
- [21] J.-F. Moon, J.-C. Kim, H.-T. Lee, S.-S. Lee, Y. T. Yoon, and K.-B. Song, 'Time-varying failure rate extraction in electric power distribution equipment', in *2006 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Jun. 2006, pp. 1–6. doi: 10.1109/PMAPS.2006.360275.
- [22] R. Wang, A. Xue, S. Huang, X. Cao, Z. Shao, and Y. Luo, 'On the estimation of time-varying failure rate to the protection devices based on failure pattern', in *2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, Jul. 2011, pp. 902–905. doi: 10.1109/DRPT.2011.5994021.
- [23] J. E. Cota-Felix, F. Rivas-Davalos, and S. Maximov, 'An alternative method for estimating mean life of power system equipment with limited end-of-life failure data', in *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, Jun. 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/PTC.2009.5281863.