

ANALISA KEANDALAN TRANSFORMATOR DAYA MENGGUNAKAN METODE POLA DISTRIBUSI WEIBULL

Ronal Sampelimbong¹, Yosef Lefaan², Suparno³, Dultudes Mangopo⁴, Marthen Liga⁵, Tiper K.M. Uniplaita⁶

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Indonesia
Email: ronaldsamlin@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima Jan 02, 2024
Direvisi Jan 015, 2024
Disetujui Feb 15, 2024

ABSTRACT

Reliability is the ability of a system or component to fulfill the required function under certain conditions over a specific timeframe. The reliability of the transformer is affected by the failure rate. The more often it fails or does not operate, the less reliable the performance of the transformer is to do its work. Failure of transformers in the transmission sub-system not only reduces power system reliability but also has a significant effect on power quality. In order to increase the reliability of the utility, to carry out an analysis of the origin and failure rate, the causes of physical damage must be studied. The purpose of this study was to determine the cause of the 60 MVA, 150/20 kV power transformer circuit breaker (PMT) at the Skyline trip/detach substation, and calculate the value of the reliability index of the power transformer. To find out the causes of PMT power transformers working, literature studies/operation reports and interviews were used. Meanwhile, to calculate the power transformer reliability index value, the Weibull distribution method is used. Causes of PMT 150/20 kV power transformer 60 MVA trips caused by external faults: occurred 37 trips/disconnects for 27,079 minutes, internal faults: occurred 7 times trips/disconnects for 4,633 minutes and unknown faults: the cause occurred 10 trips / off for 6,772 minutes, the total disturbance that occurred was 54 trips / off for 38,484 minutes. Based on the results of data processing, the value of MTTF (Mean Time To Failure) is 0.4373 years and the value of the failure rate function or % Hazardous function obtains an average failure rate value of 2.2870% years.

Keywords: Weibull distribution method, MTTF, reliability and a power transformer.

ABSTRAK

Keandalan merupakan kemampuan sistem atau komponen untuk memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam kondisi tertentu selama rentang waktu yang spesifik. Keandalan transformator dipengaruhi oleh tingkat kegagalan. Semakin sering gagal atau tidak beroperasi maka semakin tidak handal kinerja transformator tersebut melakukan kerjanya. Kegagalan transformator di sub-sistem transmisi tidak hanya mengurangi keandalan sistem tenaga tetapi juga memiliki efek yang signifikan terhadap kualitas daya. Untuk meningkatkan keandalan utilitas, melakukan analisis terhadap asal dan tingkat kegagalan, maka penyebab kerusakan fisik harus dipelajari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab pemutus tenaga (PMT) transformator daya 60 MVA, 150/20 kV pada gardu induk Skyline trip/lepas, dan menghitung nilai indeks keandalan transformator daya. Untuk mengetahui penyebab PMT transformator daya bekerja digunakan studi literatur/laporan operasi dan wawancara. Sedangkan untuk menghitung nilai indeks keandalan transformator daya digunakan metode distribusi Weibull. Penyebab PMT 150/20 kV transformator daya 60 MVA trip yang disebabkan dari gangguan eksternal: terjadi 37 kali trip/lepas selama 27.079 menit, gangguan internal: terjadi 7 kali trip/lepas selama 4.633 menit dan gangguan yang tidak diketahui: penyebabnya terjadi 10 kali trip/lepas

selama 6.772 menit, total gangguan yang terjadi sebanyak 54 kali trip/lepas selama 38.484 menit. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan nilai MTTF (Mean Time To Failure) adalah 0.4373 tahun dan nilai dari fungsi laju kegagalan atau % fungsi Hazardous didapatkan nilai laju rata-rata kegagalan yaitu 2.2870% tahun.

Kata Kunci: Metode Distribusi Weibull, MTTF, Keandalan Dan Transformator Daya.

Penulis Korespondensi:

Ronal Sampelimbong,
 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
 Universitas Cenderawasih,
 Email: ail.com ronaldsamlin@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Keandalan suatu transformator daya dapat dipengaruhi oleh gangguan dan pemeliharaan terhadap transformator daya tersebut. Gangguan yang serius pada transformator daya menyebabkan kontinuitas pelayanan listrik terganggu sehingga dapat menimbulkan kerugian secara ekonomi. Pemeliharaan yang rutin dapat meningkatkan keandalan transformator daya. Pemeliharaan yang tidak rutin dan tidak tuntas akan menyebabkan transformator daya cenderung tidak dapat beroperasi atau melayani. Untuk mengetahui keandalan transformator daya, maka perlu dihitung indeks keandalannya. Penelitian ini menggunakan data gangguan dan pemeliharaan transformator daya untuk melihat penyebab trip/lepasnya PMT transformator daya serta untuk menghitung indeks keandalan suatu transformator daya. Indeks keandalan transformator daya dihitung berdasarkan laju kegagalan atau fungsi Hazardous $\lambda(t)$ dan MTTF (Mean Time To Failure). Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode statistik dengan analisis Distribusi Weibull (Wirapraja, *et al.*, 2012).

Gangguan pada transformator daya tidak dapat dihindari, namun akibat dari gangguan tersebut harus diupayakan seminimal mungkin dampaknya. Berdasarkan Letak penyebab gangguan, ada dua jenis penyebab gangguan pada transformator, yaitu gangguan eksternal, gangguan internal dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya (Tamara & Firly). Keandalan dapat diartikan sebagai kemungkinan suatu alat untuk bekerja dengan memuaskan dalam suatu kondisi dan periode tertentu. Menurut *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), keandalan adalah kemampuan suatu sistem maupun komponen untuk memenuhi fungsinya pada kondisi tertentu untuk periode waktu tertentu. Berdasarkan sisi pandang kualitas, keandalan dapat merupakan kemampuan sebuah barang untuk dapat tetap berfungsi. Tingkat keandalan suatu transformator daya dapat diperoleh dengan mengacu pada nilai tingkat keandalan *Cronbach's Alpha*. *Cronbach's Alpha* merupakan suatu ukuran keandalan dengan range nilai dari nol hingga satu (Otaya et al 2016).

Tabel 1. Keandalan *Cronbach's Alpha*

No	Nilai <i>Cronbach's Alpha</i>	Tingkat Keandalan (<i>Reliability</i>)
1	0.0 - 0.20	Kurang Andal
2	>0.20 - 0.40	Agak Andal
3	>0.40 - 0.60	Cukup Andal
4	>0.60 - 0.80	Andal
5	>0.80 - 1.00	Sangat Andal

Sumber : Hair et al (2010: 125)

Pada teori statistik dan probabilitas (kemungkinan), distribusi Weibull merupakan salah satu distribusi kontinu. Jenis distribusi ini

diperkenalkan oleh Waloddi Weibull pada tahun 1951. Distribusi weibull adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk waktu kegagalan

atau kerusakan. Terdapat dua parameter yang digunakan pada distribusi ini yaitu α sebagai parameter skala (*scale parameter*) dan θ sebagai parameter bentuk (*shape parameter*).

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah analisis. Data yang dianalisis merupakan data PMT Trip/lepas yang berasal dari data transformator daya pada Gardu Induk Skyline.

Setelah didapat data PMT Trip/lepas, data tersebut dikelompokkan kedalam bagian, menurut gangguan penyebab PMT Trip/Lepas, gangguan internal, gangguan eksternal, gangguan yang tidak diketahui penyebabnya.

Data hasil pengelompokan diolah untuk mendapatkan nilai parameter distribusi Weibull (*Shape Parameter* dan *Scale Parameter*), dan nilai indeks keandalan transformator daya (Laju kegagalan, MTTF). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari gardu induk Skyline yang terdiri dari data bulanan perusahaan gardu induk Skyline, tepatnya data trip/lepas PMT 150/20 KV transformator daya 60MVA dari tahun (2019, 2020, 2021 dan 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengambilan Data Lapangan

Data yang di peroleh, di kelompokkan dalam 3 (tiga) jenis yaitu, gangguan eksternal, gangguan internal dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya.

Tabel 2. Jumlah Gangguan/Tahun dan TTF

No	Tahun	Jumlah Trip/Lepas (Gangguan)	Time To Failure (Menit)
1	2019	23	198.958
2	2020	13	4.923
3	2021	8	1.301
4	2022	10	1.508
5	Total	54	206.690

3.2 Perhitungan Fungsi Kumulatif Gangguan

Nilai fungsi kumulatif ini adalah jumlah dari banyaknya gangguan dari tiap kegagalan setiap

tahunnya. Jumlah tersebut merupakan alur banyaknya gangguan tiap tahunnya.

Tabel 3. Gangguan Penyebab Kegagalan, Jumlah Trip/Lepas dan TTF

No	Gangguan Penyebab Kegagalan	Jumlah Trip/Lepas	Time To Failure (Menit)
1	Eksternal	37	27.079
2	Internal	7	4.633
3	Tidak diketahui	10	6.772
4	Total	54	38.484

Tabel 3. Nilai Fungsi Probabilitas Kumulatif Dihitung Secara Manual

No	Tahun	Jumlah Gangguan Penyebab Trip/Lepas	Jumlah Kumulatif Gangguan Penyebab Trip/Lepas (I)	Fungsi Peluang Kumulatif F(T) F(T) = I/(N+1) N=54
1	1<t≤2	23	23	0,41
2	2<t≤3	13	36	0,65
3	3<t≤4	8	44	0,8
4	4<t≤5	10	54	0,98

Tabel 4. Nilai Fungsi Probabilitas Kumulatif Dihitung Menggunakan Matlab

No	Tahun	Jumlah Gangguan Penyebab Trip/Lepas	Jumlah Kumulatif Gangguan Penyebab Trip/Lepas (I)	Fungsi Peluang Kumulatif F(T) F(T) = I/(N+1) N=54
1	1<t≤2	23	23	0,41
2	2<t≤3	13	36	0,65
3	3<t≤4	8	44	0,8
4	4<t≤5	10	54	0,98

Dari tabel 3 dan 4 dapat dilihat perbandingan antara jumlah kumulatif gangguan dengan fungsi peluang kumulatif adalah berbanding lurus. Semakin tinggi nilai dari jumlah kumulatif, maka fungsi peluang kumulatifnya juga semakin tinggi. Pada tahap ini, untuk memperoleh hasil perhitungan parameter distribusi Weibull, terlebih dahulu dilakukan pemisalan X dan Y, karna nilai dari X dan Y berpengaruh terhadap

Ini karena pengaruh nilai dari jumlah kumulatif merupakan salah satu parameter dari perhitungan fungsi peluang kumulatif.

3.3 Perhitungan Parameter Distribusi Weibull

nilai dari parameter bentuk (*Shape Parameter*) dan parameter skala (*Scale Parameter*). Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari nilai X dan Y adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Nilai X Dan Y Dihitung Secara Manual

No	Tahun	Jumlah Gangguan Penyebab Trip/Lepas	Jumlah Kumulatif Gangguan Penyebab Trip/Lepas (I)	Fungsi Peluang Kumulatif F(T) $F(T) = I/(N+1)$ N=54	X = Ln(T)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(T))))
1	1<t≤2	23	23	0,41	0,69	-0,61
2	2<t≤3	13	36	0,65	1,09	-0,06
3	3<t≤4	8	44	0,8	1,38	0,47
4	4<t≤5	10	54	0,98	1,60	1,38

Tabel 6. Nilai X Dan Y Dihitung Menggunakan Mathlab

No	Tahun	Jumlah Gangguan Penyebab Trip/Lepas	Jumlah Kumulatif Gangguan Penyebab Trip/Lepas (I)	Fungsi Peluang Kumulatif F(T) $F(T) = I/(N+1)$ N=54	X = Ln(T)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(T))))
1	1<t≤2	23	23	0,41	0,69	-0,61
2	2<t≤3	13	36	0,65	1,09	0,06
3	3<t≤4	8	44	0,8	1,38	0,47
4	4<t≤5	10	54	0,98	1,60	1,38

Tabel Dari tabel 5 dan 6 dapat dilihat perbandingan antara tahun X dan Y adalah sebanding lurus. Apabila waktu (t) meningkat, maka nilai dari X dan Y juga meningkat. Ini

disebabkan karena adanya pengaruh waktu dalam perhitungan fungsi untuk mendapatkan nilai X dan Y.

Tabel 7. Nilai Parameter Distribusi Weibull Menggunakan Mathlab

No	Tahun	X	Y	Parameter bentuk (θ)	Parameter skala (α)
1	1<t≤2	0,69	-0,61	2,05	1,52
2	2<t≤3	1,09	0,06		
3	3<t≤4	1,38	0,47		
4	4<t≤5	1,60	1,38		

3.4 Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau % Fungsi Hazardous

Pada tahap ini, setelah mendapatkan nilai dari parameter distribusi Weibull, maka dilakukan

perhitungan laju kegagalan. Perhitungan laju kegagalan ini merupakan laju kegagalan dari tiap tahunnya.

Tabel 8. Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau % Fungsi Hazardous Dihitung Secara Manual

No	Tahun	Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)	Rata-Rata Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)
1	1<t≤2	0,86	2,28
2	2<t≤3	1,79	
3	3<t≤4	2,75	
4	4<t≤5	3,73	

Tabel 9. Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau % Fungsi *Hazardous* Dihitung Menggunakan Matlab

No	Tahun	Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)	Rata- Rata Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)
1	1<t≤2	0,86	2,28
2	2<t≤3	1,79	
3	3<t≤4	2,75	
4	4<t≤5	3,73	

Dari tabel 8 dan 9, dapat dilihat peningkatan fungsi laju kegagalan dari tiap tahunnya. Peningkatan nilai fungsi laju kegagalan tersebut dipengaruhi oleh parameter (t) yaitu tahunnya. Semakin tinggi tahunnya, semakin tinggi nilai fungsi laju kegagalannya.

Pada tahap ini, setelah mendapatkan nilai dari perhitungan fungsi laju kegagalan atau fungsi *hazardous* (%tahun), maka dari hasil perhitungan tiap tahunnya dirata-ratakan untuk mencari nilai λ_{av} . Setelah mendapat nilai λ_{av} , maka bisa dilakukan perhitungan MTTF.

3.5 Perhitungan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

Tabel 10. Perhitungan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

No	Tahun	Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)	Rata- Rata Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)	MTTF
1	1<t≤2	0,86	2,28	0,43
2	2<t≤3	1,79		
3	3<t≤4	2,75		
4	4<t≤5	3,73		

Tabel 11. Perhitungan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

No	Tahun	Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)	Rata- Rata Fungsi Laju Kegagalan λt (%/tahun)	MTTF
1	1<t≤2	0,86	2,28	0,43
2	2<t≤3	1,79		
3	3<t≤4	2,75		
4	4<t≤5	3,73		

3.6 Perhitungan Nilai Ketersediaan (*Uptime*) Dan Nilai Keandalan (*Reliability*)

Bila MTTF adalah 0.43 tahun, maka ketersediaan (*uptime*) dalam 4 tahun adalah dapat diperoleh sebagai berikut:

- $Uptime = \text{Lama Data Penelitian} - \text{MTTF}$
 $= 4 \text{ Tahun} - 0,43 \text{ Tahun}$
 $= 3,56 \text{ Tahun}$

Setelah nilai ketersediaan (*uptime*) diperoleh, kemudian didapatlah nilai keandalan (*reliability*) sebagai berikut:

4. KESIMPULAN

Selama periode 2019-2022, terdapat tiga jenis gangguan yang menyebabkan pemutus tenaga (PMT) pada transformator daya di Gardu Induk

- $Reliability = Uptime / \text{Lama Data Penelitian}$
 $= 3,56 / 4$
 $= 0,89$

Berdasarkan table 1, acuan *Croanbach Alpha Reliability*, dapat disimpulkan bahwa keandalan transformator daya gardu induk Skyline adalah sangat baik (sangat andal). keandalan Cronbach's Alpha dengan nilai lebih besar dari 0.80 - 1.00 maka dinyatakan sangat andal.

Skyline. Gangguan eksternal terjadi sebanyak 37 kali dengan total durasi 27.079 menit, gangguan internal terjadi sebanyak 7 kali dengan total durasi 4.633 menit, dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya terjadi sebanyak 10 kali

dengan total durasi 6.772 menit. Gangguan eksternal adalah yang paling sering menyebabkan trip atau lepasnya PMT pada transformator daya 60 MVA 150/20 kV, serta memiliki durasi gangguan paling lama selama periode tersebut.

Nilai keandalan transformator daya berdasarkan rata-rata laju kegagalan adalah 2,28% per tahun. Nilai Mean Time To Failure (MTTF) adalah 0,43 tahun, dan nilai ketersediaan adalah 3,56 dari total waktu operasi 4 tahun. Dengan demikian, didapatkan nilai keandalan sebesar 0,89. Berdasarkan tabel keandalan Cronbach's Alpha, nilai yang lebih besar dari 0,80 hingga 1,00 menyatakan bahwa transformator ini sangat andal.

Saran untuk penelitian ini adalah melakukan analisis ekonomi seperti cost analysis, management analysis, dan maintenance analysis. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian serupa dapat dilakukan di Gardu Induk PT. PLN Persero lainnya dengan metode yang sama atau berbeda. Selain itu, pemeliharaan transformator sebaiknya dilakukan lebih terjadwal sesuai dengan yang telah ditetapkan oleh pabrikan untuk menjaga keandalan transformator tetap baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agung Yanuar Wirapraja, I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, Adi Soeprijanto. (2012). *Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Surabaya Menggunakan Metode Latin Hypercube Sampling. Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Surabaya (ITS)*.
- [2] Budi Prayitno, & Dezetty Monika. *Analisa Pemeliharaan Transformator Untuk Meningkatkan Mutu Daya Listrik*.
- [3] Birolini, Alessandro. 2006. "Reliability Engineering Theory and Process". 5th Edition, Leipzig: Springer.
- [4] Fanila, Hesty, dkk. 2013. Taksiran Parameter Distribusi Weibull Dengan Menggunakan Metode Momen Dan Metode Kuadrat Terkecil. *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Matematika, Universitas Riau, Pekanbaru*.
- [5] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Exploratory factor analysis. Multivariate data analysis, 7th Pearson new international ed.* Harlow: Pearson.
- [6] Hazhiah, Indria T, Sugianto & Rahmawati, Rita. (2012). *Estimasi Parameter Distribusi Weibull Dua Parameter Menggunakan Metode Bayes. Jurnal Media Statistika*.
- [7] Napitupulu, J. C., & Tobing, P. S. 2013. *Analisis Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull (Studi Kasus Transformator*
- [8] *Daya GI. Titi Kuning PT. PLN Persero). Singuda ENSIKOM, 3(3), 112-117.*
- [9] M. Mirzai, A. Gholami, F. Aminifar. (2006). *Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers. J. Electrical Systems 2-1, 1-12.*
- [10] Otaya, L. G. 2016. *Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya (Pada Persoalan Keandalan (Reliability) Dan Analisis Rawatan (Maintainability). TADBIR: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam, 4(2), 44-66. Gorontalo.*
- [11] PT PLN (Persero) PUSDIKLAT. 2009. "Pengoperasian Peralatan Gardu Induk". Jakarta.
- [12] PT PLN (Persero) P3B. (2003, Juni 13).
- [13] *Pemeliharaan Transformator. Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga: <http://bops.pln-jawa-bali.co.id/artikel/pemeliharaantrafo.pdf>*
- [14] Sudarno. (2009). *Karakteristik Umur Produk Pada Model Weibull. (Media Statistika, Vol. 2, No. 2, Desember 2009.*
- [15] Tamara, Firly S.T., "Analisis Prediksi Waktu Kegagalan Transformator Menggunakan Distribusi Weibull dan Distribusi Eksponensial", Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. 2014.
- [16] Qiao, Hongzhi & Tsokos, Chris P. (1994). *Parameter Estimation of the Weibull Probability Distribution. Journal Mathematics and Computers in Simulation.*