SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 9 No. 2, Juni 2025, pp. 6 – 13
ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 online

Studi Keandalan Dan Umur Transformator Daya 150 KV Pada PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru Menggunakan Distribusi Weibull

Farli Adnan M[1], Usaha Situmeang[2], Masnur Putra Halilintar[3]
[1,2,3] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324
Corresponded Author : masnur@unilak.ac.id

ABSTRAK

Transformator daya merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik yang keandalannya sangat bergantung pada kondisi sistem isolasi internal, khususnya isolasi kertas. Seiring waktu, isolasi ini mengalami degradasi yang menghasilkan senyawa kimia bernama furan (2-Furfuraldehyde/2FAL), yang dapat dideteksi melalui pengujian minyak transformator. Permasalahan dalam penelitian ini adalah menurunnya performa transformator akibat penuaan isolasi, yang berisiko terhadap gangguan pasokan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keandalan dan estimasi umur transformator daya 150 kV berdasarkan konsentrasi furan menggunakan pendekatan distribusi Weibull. Metode yang digunakan adalah analisis statistik terhadap data pengujian furan dari beberapa unit transformator, dilanjutkan dengan estimasi umur dan tingkat keandalan melalui pemodelan fungsi distribusi Weibull. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformator di Gardu Induk Sri Bintan TD#1 memiliki tingkat keandalan sebesar 0,88 dengan estimasi umur transformator sebesar 19,4 tahun atau 169.944 jam. Nilai furan yang diperoleh dari distribusi Weibull menunjukkan bahwa transformator tersebut masih berada dalam kondisi layak operasi. Fungsi kepadatan probabilitas mencapai $2{,}49229 \times 10^{-4}$, mengindikasikan potensi ketahanan yang baik. Fungsi distribusi kumulatif sebesar 0,1188 menunjukkan kemungkinan kegagalan sebesar 11,88%, sedangkan laju kegagalan transformator berada pada angka $2{,}82823 \times 10^{-6}$ per jam. Rata-rata sisa umur transformator diperkirakan mencapai 76.279

Kata Kunci: *Transformator, Furan, Keandalan, Distribusi Weibull*

ABSTRACT

Power transformers are vital components in electrical power systems, with their reliability heavily dependent on the condition of the internal insulation system, particularly the paper insulation. Over time, this insulation degrades and produces a chemical compound known as furan (2-Furfuraldehyde/2FAL), which can be detected through transformer oil testing. The core issue addressed in this study is the declining performance of transformers due to insulation aging, which poses a risk to power supply reliability. This research aims to analyze the reliability and estimated lifespan of 150 kV power transformers based on furan concentration using the Weibull distribution approach. The method involves statistical analysis of furan test data from several transformer units, followed by modeling the life expectancy and reliability levels using Weibull distribution functions. The findings indicate that the transformer at the Sri Bintan Substation TD#1 has a reliability level of 0.88, with an estimated lifespan of 19.4 years or 169,944 hours. The furan values obtained and analyzed using the Weibull distribution suggest that the transformer is still in operable condition. The Probability Density Function (PDF) value reaches 2.49229×10^{-4}, indicating a strong potential for durability. Meanwhile, the Cumulative Distribution Function (CDF) value of 0.1188 reflects a failure probability of 11.88%, and the failure rate is 2.82823×10^{-6} failures per hour. The Mean Residual Life (MRL) of the transformer is estimated at 76,279 hours.

Keywords: *Transformer, Furan, Reliability, Weibull Distribution*

1. PENDAHULUAN

Transformator daya merupakan komponen inti dalam sistem tenaga listrik dan berfungsi sebagai penghubung antar level tegangan dalam proses transmisi dan distribusi listrik. Oleh karena itu, transformator daya kerap dijuluki sebagai "jantung" sistem tenaga listrik karena perannya yang krusial dalam menjamin kelangsungan pasokan energi ke konsumen. Menurut [1], lebih dari 50% gangguan pada sistem tenaga disebabkan oleh kegagalan transformator daya, sehingga keandalannya menjadi perhatian utama, terutama bagi perusahaan penyedia listrik seperti PT PLN (Persero).

Masalah utama yang dihadapi adalah penurunan keandalan transformator daya akibat degradasi sistem isolasi internal, khususnya isolasi kertas. Penuaan pada isolasi ini menghasilkan senyawa kimia bernama furan (2-Furfuraldehyde/2FAL) yang terlarut dalam minyak transformator. Semakin tinggi konsentrasi furan, semakin besar tingkat kerusakan isolasi dan semakin dekat transformator menuju kegagalan [2]. Kegagalan isolasi dapat menyebabkan pemadaman listrik, kerusakan peralatan, hingga kerugian finansial yang besar.

Beberapa studi sebelumnya telah mengusulkan berbagai solusi untuk memantau kondisi transformator, di antaranya:

1. Dissolved Gas Analysis (DGA) untuk mendeteksi gas terlarut akibat kerusakan internal [3],
2. Frequency Response Analysis (FRA) untuk mendeteksi perubahan fisik [4],
3. Dan analisis kandungan furan (2FAL) dalam minyak trafo sebagai indikator degradasi isolasi kertas [5].

Dari berbagai pendekatan tersebut, pengujian furan terbukti lebih sensitif dalam mengidentifikasi tahap awal degradasi kertas isolasi, dibandingkan metode lain yang cenderung reaktif terhadap kerusakan yang sudah parah [6]. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu belum memanfaatkan pendekatan probabilistik secara mendalam untuk memodelkan kegagalan berdasarkan data furan, khususnya menggunakan distribusi statistik seperti Weibull. Beberapa studi yang memanfaatkan distribusi Weibull hanya terbatas pada parameter mekanik atau data kerusakan aktual, bukan prediksi berdasarkan data kimia seperti furan [7][8].

Tujuan penelitian untuk menggabungkan data furan dari pengujian minyak transformator dengan metode analisis probabilistik menggunakan distribusi Weibull untuk memperkirakan keandalan dan umur sisa transformator. Model ini diharapkan lebih akurat dalam memberikan dasar keputusan pemeliharaan preventif, sehingga dapat mengurangi risiko kegagalan mendadak. Dengan demikian, pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memanfaatkan data furan sebagai indikator degradasi dan mengintegrasikannya ke dalam model distribusi Weibull, yang belum banyak dikaji secara mendalam dalam konteks keandalan transformator di Indonesia, khususnya pada sistem tegangan 150 kV.

Furan

Furan adalah senyawa organik yang dihasilkan oleh degradasi minyak isolasi, panas yang berlebihan, dan oksidasi asam. Ketika kelembaban dan oksigen bergabung mempercepat kerusakan dielektrik dan membentuk senyawa furan. Kandungan furan dalam minyak menentukan sisa masa pakai kertas isolasi. Estimasi masa pakai kertas isolasi dari konsentrasi furan dalam minyak isolasi [3].

Stabilitas Analisis Furan

Untuk mengevaluasi teknologi saat ini dan untuk mengefektifkan penggunaan proses pengukuran furan, perlu untuk menguji stabilitas furan di lingkungan yang ditemukan dalam transformator yang beroperasi. Seperti yang dinyatakan oleh *Unsworth*, “Tidak ada gunanya mengkorelasikan konsentrasi furan dengan sifat mekanik dan dielektrik jika furan tidak stabil dari waktu ke waktu”. Jadi untuk tujuan mengevaluasi atau memanfaatkan teknologi ini dengan lebih baik, sangat penting untuk memahami stabilitas berbagai senyawa ini di lingkungan operasi transformator [3].

Keandalan

Keandalan merupakan kemampuan sebuah alat atau sistem untuk dapat bekerja sesuai yang diinginkan dalam kondisi tertentu selama waktu yang telah ditentukan. Dilihat dari kualitas, keandalan merupakan kemampuan suatu barang atau alat untuk tetap dapat berfungsi. Sedangkan dilihat dari sisi kuantitatif, keandalan merupakan kemungkinan tidak adanya gangguan operasional selama waktu tertentu [5].

Definisi Keandalan

Secara umum keandalan didefenisikan sebagai kemungkinan (*probability*) dari suatu sistem yang mampu bekerja sesuai dengan kondisi operasi tertentu dalam jangka waktu yang ditentukan, dengan keandalan disebut juga dengan kecukupan atau ketersediaan (*availability*). Dalam mendefenisikan keandalan terhadap gangguan terdapat empat faktor yang memegang peranan penting yaitu [5] :

a. Periode Waktu.
b. Probabilitas.
c. Kondisi Operasi.
d. Unjuk Kerja (Performance).

Konsep Dasar Keandalan

keandalan. Pertama, Anda memerlukan pengetahuan tentang bug dan gangguan yang menyebabkan perangkat Anda tidak berfungsi seperti yang diharapkan. Konsep keandalan meliputi [5] :

a. Kegagalan.
b. Penyebab Kegagalan.
c. Mode Kegagalan.
d. Mekanisme Kegagalan.

Laju Kegagalan

Laju kegagalan adalah jumlah rata-rata kegagalan per satuan waktu selama periode pengamatan tertentu (T), yang dinyatakan dalam kegagalan per tahun. Pengamatan memberikan nilai tingkat kegagalan sebagai [4]:

$$\lambda = \frac{d}{T} \quad (1)$$

Keterangan :
λ = *Lajukegagalan (kegagalan/tahun)*
d = *Banyaknya kegagalan yang terjadi pada waktu T*
T = *Selang waktu pengamatan (tahun)*

Distribusi Weibull

Distribusi Weibull biasanya digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang menyangkut lama waktu (umur) suatu objek. Distribusi Weibull memiliki parameter skala (scale) dan bentuk (shape) parameter tersebut harus diketahui agar dapat dicari lebih lanjut sifat dan karakteristik data Distribusi Weibull. Distribusi Weibull, sama dengan sejumlah kecil distribusi lain seperti distribusi gamma dan lognormal, memiliki satu sifat yang sangat penting ; distribusinya tidak memiliki bentuk karakteristik tertentu. Fungsi densitas kegagalan dari distribusi weibull [6].

Estimasi Hidup Menggunakan Tingkat Polimerisasi Dari Analisis Furan.

Senyawa furan hadir dalam minyak transformator selama proses penuaan insulasi. pengambilan sampel minyak dapat menunjukkan jumlah senyawa ini dalam minyak transformator sehingga memberi dan indikasi keadaan kertas isolasi. formula cendong di antara beberapa telah dikembangkan untuk mengekspresikan hubungan antara furan dan DP. DP akan membantu dalam menghitung dan memperkirakan kehidupan yang digunakan dan sisa-sisa transformator [8].

$$DP = \frac{log_{10}(2FAL) - 1{,}51}{-0{,}0035} \quad (2)$$

$$\%life\ used = \frac{log_{10}(DP) - 2{,}903}{-0{,}006021} \quad (3)$$

$$used\ life\ (in\ years) = 20{,}5 \ln\left(\frac{1100}{DP}\right) \quad (4)$$

Keterangan :
DP =*Degree of Polimerization* (Derajat Polimerisasi).
Life used = Hidup yang digunakan.
Used life = Hidup yang telah berlalu.

Least Square, Rank Regression Untuk Mengestimasi Parameter Weibull.

Least square,rank regression untuk mengestimasi parameter weibull [12]:

$$MR_i = \frac{i - 0{,}3}{n + 0{,}4}; MR = Median\ Rank \quad (5)$$

Keterangan :
i = Data yang diambil
n = Jumlah Total Data
R = Koefisien korelasi
R^2= Koefisien determinasi / Digunakan untuk mengetahui apakah data yang digunakan untuk regresi udah kuat dan layak dipakai untuk analisis selanjutnya atau belum.

$$x_i = \ln(t_i) \quad (6)$$

$$y_i = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - MR_i}\right)\right] \quad (7)$$

Probability density function (PDF), f(t).

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta - 1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (8)$$

Cumulative density function (CDF), F(t).

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (9)$$

Reliability function, fungsi kehandalan, R(t).

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (10)$$

Hazard Rate function, fungsi laju kegagalan, λ(t).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta - 1} \quad (11)$$

Mean Residual Life, Rata-rata sisa umur, MRL(t)

$$MRL(t) = \int_0^{\infty} R(T + t)\, dT \quad (12)$$

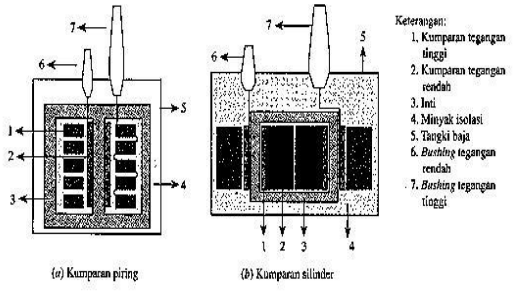
Atau

$$MRL(t) = \frac{\alpha}{\beta} e^{\left[\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right]} \Gamma\left[\frac{1}{\beta}, \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \quad (13)$$

2. METODE PENELITIAN

Transformator Daya

Transformator daya merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan untuk keperluan transmisi dan distribusi listrik. Karena transmisi dilakukan pada tegangan tinggi untuk mengurangi rugi-rugi daya, maka transformator diperlukan untuk mentransfer energi dari generator ke jaringan transmisi, dan dari transmisi ke distribusi. Penggunaan transformator bertegangan tinggi juga menuntut perhatian pada desain isolasi, ukuran, dan beratnya [7].



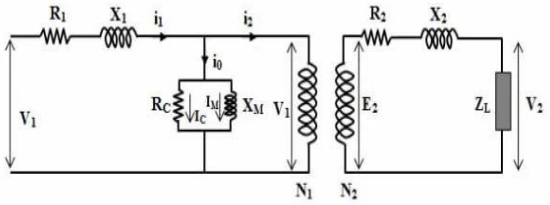
Gambar 1. Prinsip Kerja Transformator Daya

Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri dari inti, kumparan primer dan sekunder, serta sistem isolasi. Inti terbuat dari baja silikon berlapis pernis, sedangkan isolasinya menggunakan kombinasi bahan cair dan padat [11]. Ketika kumparan primer dihubungkan ke sumber AC, arus beban nol mengalir dan menghasilkan fluks bolak-balik pada inti. Fluks ini menginduksi tegangan pada kumparan sekunder melalui induksi elektromagnetik.

Rangkaian Ekivalen Transformator

Dalam analisis kerja transformator, digunakan model rangkaian ekivalen. Fluks bocor pada kumparan primer dan sekunder direpresentasikan sebagai reaktansi X_1 dan X_2, sedangkan rugi-rugi pada lilitan diwakili oleh resistansi R_1 dan R_2. Gambar 2 menunjukkan model rangkaian ekivalennya [5].



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen Transformator

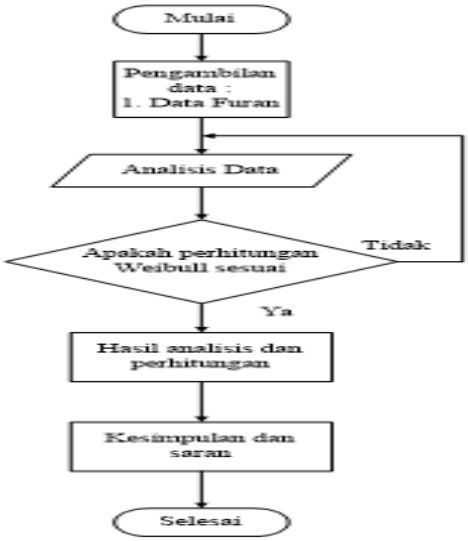
Spesifikasi Pada Transformator Daya

Pada tanggal 13 juni 2017 dilakukan inspeksi internal pada Transformator Daya #1 50 MVA GI Garuda Sakti. Spesifikasi Transformator Daya tersebut seperti tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Transformator Daya#1 Gardu Induk Garuda Sakti

Brand	**HYUNDAI**
Type	TL-347
Serial Number	T.953061
In (A)	1443.4
Rated Frequency (Hz)	50
Impedance (%)	12.82
Manufactured Year	1995
Operation Year	1998
Vector Group	YNyn0+d
Oil	DIALA B
Untanking Mass (kg)	37320
Oil Volume (l)	19500
Type of Cooling	ONAN/ONAF
Temp Rise (winding/Oil) (deg Kelvin)	58/53

Pengujian kadar senyawa furan minyak dan estimasi % kekuatan isolasi kertas transformator dengan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).



Gambar 3 Flowchart Analisis Data Hasil Pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Trafo ini dibuat untuk mengetahui kapan dan berapa umur trafo tersebut. menggunakan kertas furan (2FAL) yang terdapat dari Tabel 2. Transformator Daya #1 Garuda Sakti dengan nilai furan (2FAL) = 3838,725

$$DP = \frac{log_{10}(3838.78) - 1{,}51}{-0{,}0035} = 265$$

$$\%life\ used = \frac{log_{10}(265) - 2{,}093}{-0{,}006021} = 80$$

$$used\ life\ (in\ years) = 20{,}5\ ln\left(\frac{1100}{265}\right)$$

$$used\ life(in\ years) = 29{,}1 \text{ Tahun}$$

Setelah mendapatkan hasil yang dicari dari hasil pembahasan, maka hasil yang telah di dapat di kalikan dengan hitungan jam per tahun karena dalam satu tahun ada 365 hari, maka 365 hari diubah menjadi hitungan jam yaitu 8760 jam, setelah itu 8760 hari dikalikan dengan hasil dari *used life (in years).*

Tabel 2 Perhitungan Least Square Method

i	jam;{t)	median rank (MR)	1/(1-MR(i))	x(i)	y(i)	X{i)^2	x(i)y(i)	y(j)^2
1	169944	0,067307692	1,072164948	12,04322425	-2,663843085	145,0392503	-32,08125964	7,096059984
2	183960	0,163461538	1,195402299	12,12247362	-1,72326315	146,9543667	-20,89021208	2,969635885
3	183960	0,259615385	1,350649351	12,12247362	-1,202023115	146,9543667	-14,57149351	1,44485957
4	245280	0,355769231	1,552238806	12,41015569	-0,821666515	154,0119644	-10,19700938	0,675135862
5	254916	0,451923077	1,824561404	12,44868936	-0,508595394	154,9698667	-6,331346066	0,258669275
6	256668	0,548076923	2,212765957	12,4555387	-0,230365445	155,1404443	-2,869325712	0,053068238
7	291708	0,644230769	**2,810810811**	12,58350858	0,032924962	158,3446882	0,414311541	0,001084053
8	346020	0,740384615	3,851851852	12,75425186	0,299032932	162,6709404	3,813941326	0,089420694
9	353904	0,836538462	6,117647059	12,77678097	0,593977217	163,2461319	7,589116798	0,352808934
10	354780	0,932692308	14,85714286	12,77925316	0,992688929	163,3093113	12,68582314	0,985431311
				124,4963498	-5,231132665	1550,641331	-62,43745359	13,92617381

Analisis Perhitungan Least Square Method

Adapun persamaan yang diberikan pada penelitian ini untuk menghitung MR nilai Median Rank pada transformator sebagai berikut :

Pada jam (t) =169944 jam.

$$MR_i = \frac{169944-0,3}{1+0,4}; MR = 0,067307692$$

$$MR_i = \frac{1}{1-0.067307692} = 1,072164948$$

$$x_i = \ln(169944) = 12,04322425$$

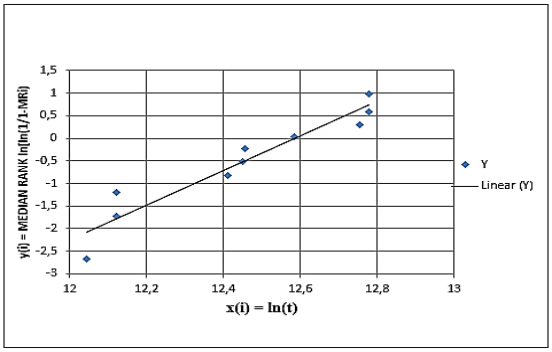
$$y_i = ln[\ln(1,072164948)] = -2,663843085$$

$$x_i^2 = 12,04322425^2 = 145,0392403$$

$$x_i y_i = 12,04322425\ x - 2,663843085 = -32,08125964$$

$$y_i^2 = -2,663843085^2 = 7,096059984$$

Setelah dilakukan perhitungan apakah data yang digunakan untuk regresi udah kuat dan layak dipakai analisis maka hasil dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 3 perhitungan *least square method* yang berisikan hasil jam, *median rank* dan hasil lainnya yang sudah dimasukkan kedalam Tabel 3 Estimasi Parameter Weibull menggunakan *Least Square Method*. Pada Grafik tersebut ditunjukkan estimasi hidup pada sebuah transformator yang menggunakan senyawa furanic. Estimasi parameter weibull menggunakan *Least Square Method* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Estimasi Parameter Weibull Menggunakan Least Square Method

Menganalisis Perhitungan Pengaruh Furan Menggunakan Hasil Analisis Distribusi Weibull

Untuk mendapatkan Parameter Skala dan Parameter Bentuk agar bisa mendapatkan nilai Kehandalan, *Probability Density Function* (PDF), *Cumulative Density Function* (CDF), Laju Kegagalan, seperti :

$$\alpha = 292802,9524$$
$$\beta = 3,801138249$$

Realibility Function, fungsi kehandalan, R(t)

$$R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{169944}{292802,9524}\right)^{3,801138249}} = 0,881221367$$

Probability Density Function (PDF), f(t)

$$f(t) = \frac{3,801138249}{292802,9524}\left(\frac{169944}{292802,9524}\right)^{3,801138249-1} = 0.00000282823\ x\ 0,881221367 = 0.00000249229$$

Cumulative Density Function (CDF), F(t)

$$F(t) = 1 - 0{,}881221367 = 0.118778633$$

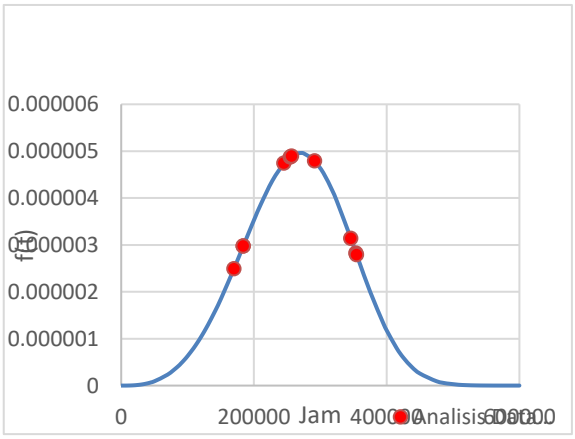
Hazard Rate Function, fungsi laju kegagalan, $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{0.00000249229}{0.881221387} = 0.00000282822$$

Tabel 3 Hasil Analisis Distribusi Weibull

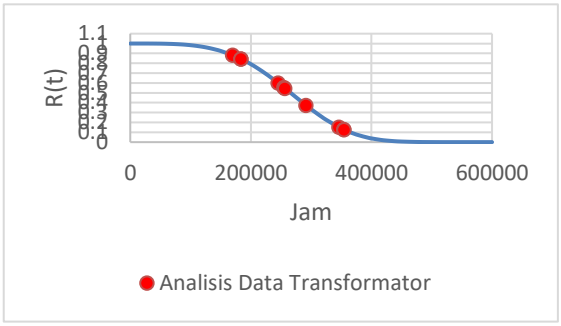
Mean Residual Life, Rata-rata sisa umur, MRL(t)

Setelah dilakukan perhitungan apakah data yang digunakan untuk nilai kehandalan, *Probability Density Function*, *Cumulative Density Function*, dan laju kegagalan udah kuat dan layak dipakai analisis maka hasil dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 3. Setalah mendapat kan hasil dari Tabel 3 maka akan muncul grafik yang menyatakan kehandalan, *Probablity Density Function* (PDF), *Cumulative Density Function* (CDF), Laju Kegagalan, dan *Mean Residual Life* (MRL). Grafik Kehandalan seperti terlihat pada Gambar 5.



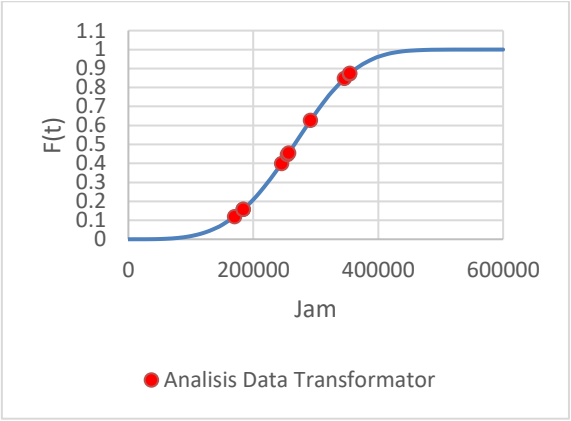
Gambar 5 Grafik Kehandalan

Pada saat transformator memiliki umur 169944 dalam hitungan jam, maka transformator tersebut memiliki kehandalan 90%, setidaknya transformator akan bertahan hidup. Grafik *Probability Density Function* terlihat seperti pada Gambar 6. Pada saat transformator memiliki umur 169944 dalam hitungan jam, kepadatan transformator per jam didapatkan nilai *Probability Density Function* 0,00000249229 yang menyatakan bahwa transformator bisa bertahan lama.



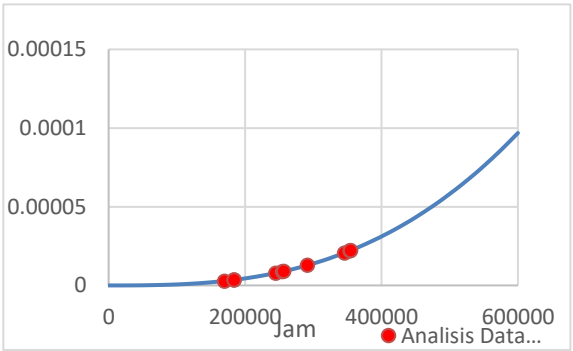
Gambar 6 Grafik Laju Kegagalan

Grafik *Cumulative Density Function* terlihat seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Cumulative Denstiy Function (CDF)

Transformator memiliki umur 169944 jam, 11% (didapat dari 0,118778633*100%) kemungkinan transformator tersebut gagal. Nilai *Cumulative Density Function* (CDF) dikalikan dengan nilai n (jumlah transformator), maka apabila ketika transformator memiliki umur 169944 jam, setidaknya 1 transformator akan gagal dari 10 transformator tersebut. Grafik Laju Kegagalan terlihat seperti pada Gambar 8.



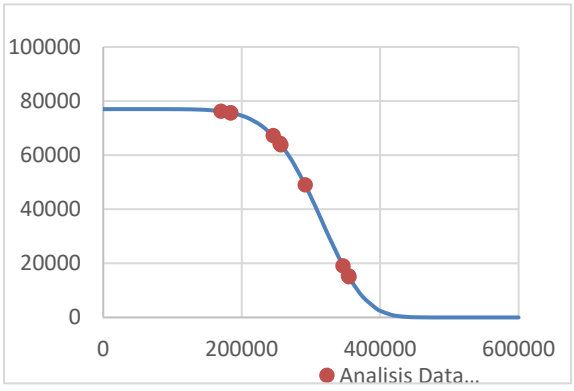
Gambar 8 Grafik Laju Kegagalan

Tabel 3 Hasil Analisis Distribusi Weibull

Hasil Analisis Distribusi Weibull						
jam; (t)	Kehandalan	Pdf	cdf	laju kegagalan	mean residual life	N(t)
169944	0,881221367	2,49229E-06	0,118778633	2,82823E-06	76279,73069	1,187786333
183960	0,842909048	2,97648E-06	0,157090952	3,5312E-06	75703,94778	1,570909517
183960	0,842909048	2,97648E-06	0,157090952	3,5312E-06	75703,94778	1,570909517
245280	0,600445027	4,74643E-06	0,399554973	7,90485E-06	67201,99773	3,995549732
254916	0,554024693	4,87865E-06	0,445975307	8,80583E-06	64414,18924	4,459753074
256668	0,545461553	4,89629E-06	0,454538447	8,97641E-06	63852,10006	4,545384473
291708	0,373118311	4,79322E-06	0,626881689	1,28464E-05	49001,22924	6,268816888
346020	0,151585949	3,14161E-06	0,848414051	2,07249E-05	19118,06576	8,484140506
353904	0,128056509	2,82684E-06	0,871943491	2,2075E-05	15413,26443	8,719434912
354780	0,125595552	2,79178E-06	0,874404448	2,22284E-05	15025,7492	8,744044484

Pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa estimasi hidup yang diperoleh untuk beberapa transformator yang menggunakan konsentrasi senyawa furanic tidak terlalu akurat, ini disebabkan oleh fakta bahwa strategi pemeliharaan minyak organisasi metode ini lebih lanjut menunjukkan bahwa Transformator Daya #1, #2, #3 dan #4 Garuda Sakti yang beroperasi selama lebih dari 27 tahun, yang merupakan perkiraan umur transformator, hanya menggunakan lebih dari 20 tahun masing masing mengisolasi kehidupan kertas. Diketahui bahwa kertas isolasi transformator tidak pernah diganti, yang membuatnya tidak mungkin bagi metodenya untuk secara akurat mengukur sisa sisa kehidupan transformator. Oleh karena itu metode ini cocok untuk mengindentifikasi apakah transformator daya berada pada atau dekat dan masa operasinya, jenis kemungkinan kesalahan dan rekomendasi untuk tindakan pemeliharaan masa depan.

Pada saat transformator memiliki umur 354780 jam, laju kegagalannya adalah 2,22284x10^{-6} gagal/jam. Atau akan memiliki laju kegagalan 2,22284 gagal/1000000 jam. Gambar 9 ditunjukkan Grafik *Mean Residual Life* seperti Gambar dibawah ini.



Gambar 9 Mean Residual Life (Rata-rata Sisa Umur)

Pada saat transformator memiliki umur 353904 dalam hitungan jam, maka sisa umur pada transformator adalah 15413,26443 jam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis-analisis metode hasil metode distribusi Weibull maka didapatkanlah beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Keandalan dan umur transformator daya 150 kV terlihat bahwa estimasi hidup yang diperoleh untuk beberapa transformator diantaranya ada Gardu Induk Sri Bintan Transformator Daya#1 yang mempunyai keandalan yaitu 0.88 dan umur transformator 19,4 Tahun. Setelah mendapatkan hasil tahun maka diubah kedalam hitungan jam, dengan mendapatkan hasil 169944 jam pada Gardu Induk Sri Bintan.
2. Hasil analisis nilai furan menggunakan distribusi weibull dan di ubah ke jam, maka untuk furan pada Gardu Induk Sri Bintan Transformator Daya#1 memiliki Nilai Furan 169944 jam. Nilai Keandalan 0.88 transformator memiliki 90% bertahan hidup.Nilai *Probability Density Function* (PDF) memberitahukan bahwa 249229x10^{-6} yang menyatakan kepadatan pada transformator terlihat bagus dan bisa bertahan lebih lama lagi. Nilai *Cumulative Density Function* (CDF) 0,118778633 kemungkinan akan gagal sebesar 11%. Nilai Laju kegagalan 2,82823$x10^{-6}$ gagal/jam, nilai *Mean Residual Life* (MRL) 76279,73069/jam.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Arismunandar "*Teknik Tegangan Tinggi*". Pradnya Paramita Jakarta 1990.

[2] Billinton. Roy and Allan, N. Ronald "*Reliability Evaluation of Engineering Systems* (2nd ed)" Plenum Press, New York. 1992.
[3] Cheim, Luiz . "*Furan Analysis for Liquid Power Transformer" ABB TRES,* Nourth America 2011.
[4] Chowdhury, A.A, dan D.O Koval. "*Power Distribution System Reability Partical Methods and Application".* Edmonton: A Jhon Wiley & Sons,INC.,Publication, United States of America 2009.
[5] Gonen, Turan. "*Electric Power Distribution Engineering* (3rd ed)" CRC Press Taylor & Francis Group, London 2014.
[6] Indria, T, H., Sugito, & Rita Rahmawati , "*Estimasi Parameter Distribusi Weibull Dua Parameter".* Jurnal Gaussian Vol 1. No 1. FSM UNDIP 2012.
[7] Kadir, Abdul "*Transformator*" PT.Elex Media Komputindo, Kelompok Gramedia, Jakarta 1989.
[8] Maduna, G.L. Thuthukani "*Comparative Analisys of life Estimation and Realibility of Power Transformers*" PRASA Conference Bloemfontein, South Africa 2019.
[9] Nelson, Wayne (1982) "*Applied Life Data Ananlysis"* Jhon Wiley and Sons, General Electric Co. Corporate Research and Development Schenectady, New York.
[10] Tamara,Firly.*"Analisis prediksi waktu kegagalan Transformator menggunakan Distribusi Weibull dan Distribusi Eksponensial",* Skripsi, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 2014.
[11] Tobing, L. Bonggas "*Peralatan Tegangan Tinggi (2nd ed)*" Penerbit Erlangga, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan 2012.
[12] Yong, Tang "*Extended Weibull Distribution in Reability Engineering"* A Thesis Submited, National University of Singapore 2004.