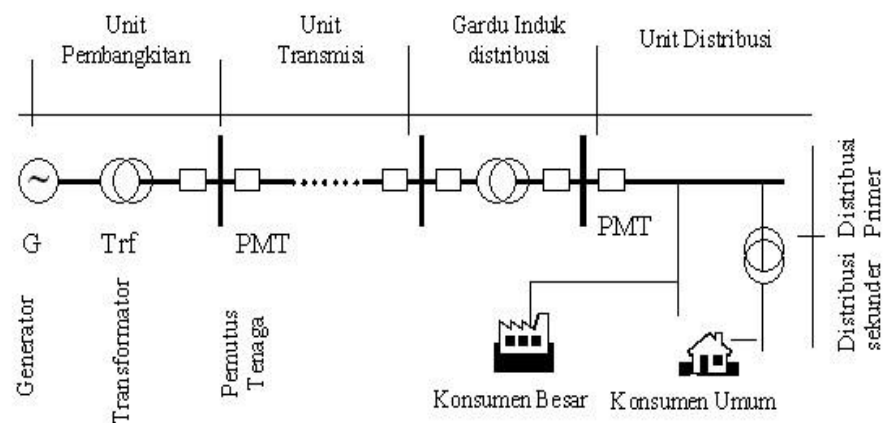


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya perusahaan listrik akan menjaga kontinuitas pelayanan listrik, agar daya yang tersalurkan kepada pelanggan dapat sampai secara terus menerus tanpa terputus. Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan dan gabungan dari beberapa komponen listrik yang terdiri dari generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Line System Distribusi Tenaga Listrik
(Sumber : Lawrance, 1965)

Di mana :

G : Generator

Trf : Transformator

PMT : Pemutus Tenaga

GD : Gardu Distribusi

Ada kalanya komponen-komponen listrik pada sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi tersebut mengalami masalah dasar seperti gangguan, masalah pemeliharaan, dan penuaan sehingga diperlukan adanya pergantian alat atau komponen. Pemeliharaan bertujuan untuk meningkatkan keandalan peralatan atau komponen listrik. Oleh karena itu, diperlukan adanya pemeliharaan yang rutin dan terjadwal dengan baik. Salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik adalah transformator. Terdapat beberapa dampak akibat adanya gangguan pada transformator daya, meliputi aliran daya akan terputus, menurunnya keandalan transformator daya dan adanya kerugian secara ekonomi bagi perusahaan penyedia listrik tersebut. Gangguan pada transformator daya terbagi atas dua jenis, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Transformator daya dilengkapi dengan beberapa rele proteksi yang bekerjasama dengan PMT (Pemutus Tenaga). Rele proteksi pada transformator daya berfungsi untuk melindungi transformator daya dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Oleh karena itu, diharapkan rele proteksi dapat bekerja dengan sangat baik, agar tidak terjadi kerusakan pada transformator daya (Napitupulu., & Tobing,.2013)

2.2 Pengertian dan Fungsi Transformator Daya

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke

tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal, kalau bisa terus menerus tanpa berhenti.



Gambar 2.2 Transformator Daya
(Sumber: Gardu Induk Skyline, Jayapura)

Transformator daya atau tenaga dapat diklasifikasikan menurut sistem pemasangan dan fungsi pemakaiannya. Berdasarkan pemasangannya transformator daya terdiri dari transformator daya pemasangan dalam dan pemasangan luar. Berdasarkan Fungsi dan pemakaian, transformator daya terdiri dari, transformator mesin (untuk mesin-mesin listrik), transformator Gardu Induk dan transformator distribusi (PLN P3B. 2003).

2.2.1 Jenis-Jenis Transformator

Berikut ini terdiri beberapa jenis-jenis transformator, diantaranya: (PLN P3B, 2009).

1 Step-Up

Transformator Step-Up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.

2 Step-Down

Transformator Step-Down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.

3 Autotransformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari Autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil

dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Selain itu, Autotransformator tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak lebih dari 1,5 kali).

4 Autotransformator Variabel

Autotransformator variabel sebenarnya adalah autotransformator biasa yang sadapan tengahnya bisa diubah-ubah, memberikan perbandingan lilitan primer-sekunder yang berubah-ubah.

5 Transformator Isolasi

Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer, sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengkompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.

6 Transformator Pulsa

Transformator pulsa adalah transformator yang didesain khusus untuk memberikan keluaran gelombang pulsa. Transformator jenis ini menggunakan material inti yang cepat jenuh sehingga setelah arus primer mencapai titik tertentu, fluks magnet berhenti berubah. Karena GGL induksi pada lilitan sekunder hanya terbentuk jika terjadi

perubahan fluks magnet, transformator hanya memberikan keluaran saat inti tidak jenuh, yaitu saat arus pada lilitan primer berbalik arah.

7 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa sebenarnya adalah tiga transformator yang dihubungkan secara khusus satu sama lain. Lilitan primer biasanya dihubungkan secara bintang (Y) dan lilitan sekunder dihubungkan secara delta (Δ).

2.3 Gangguan Transformator Daya

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 dan gangguan internal. (Tamara & Firly)

2.3.1 Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal sumber gangguannya berasal dari luar pengamanan transformator, tetapi dampaknya dirasakan oleh transformator tersebut, diantaranya :

1. Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan

Gangguan hubung singkat diluar transformator ini biasanya dapat segera dideteksi karena timbulnya arus yang sangat besar, dapat mencapai beberapa kali arus nominalnya, seperti :

- Hubung singkat di Rel

- Hubung singkat pada penyulang (*feeder*)
- Hubung singkat pada incoming *feeder* transformator tersebut

2. Beban Lebih

Transformator daya dapat beroperasi secara terus menerus pada arus beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini mungkin tidak akan menimbulkan kerusakan, tetapi apabila berlangsung secara terus menerus akan memperpendek umur isolasi.

3. Surja Petir

Gelombang surja dapat terjadi karena cuaca, yaitu petir yang menyambar jaringan transmisi dan kemudian akan merambat ke gardu terdekat dimana transformator tenaga terpasang. Walaupun hanya terjadi dalam kurun waktu sangat singkat hanya beberapa puluh mikrodetik, akan tetapi karena tegangan puncak yang dimiliki cukup tinggi dan energi yang dikandungnya besar, maka ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator tenaga. Bentuk gelombang dari petir yang dicatat dengan sebuah asilograf sinar katoda (berupa tegangan sebagai fungsi waktu). Disamping dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, gangguan tersebut dapat juga membahayakan manusia atau operator yang ada disekitarnya. Akibat-akibat yang terjadi pada manusia atau operator adalah seperti terkejut, pingsan bahkan sampai meninggal (Prayitno &Monika).

2.3.2 Gangguan Internal

Gangguan internal adalah gangguan yang bersumber dari daerah pengamanan/petak bay transformator, diantaranya :

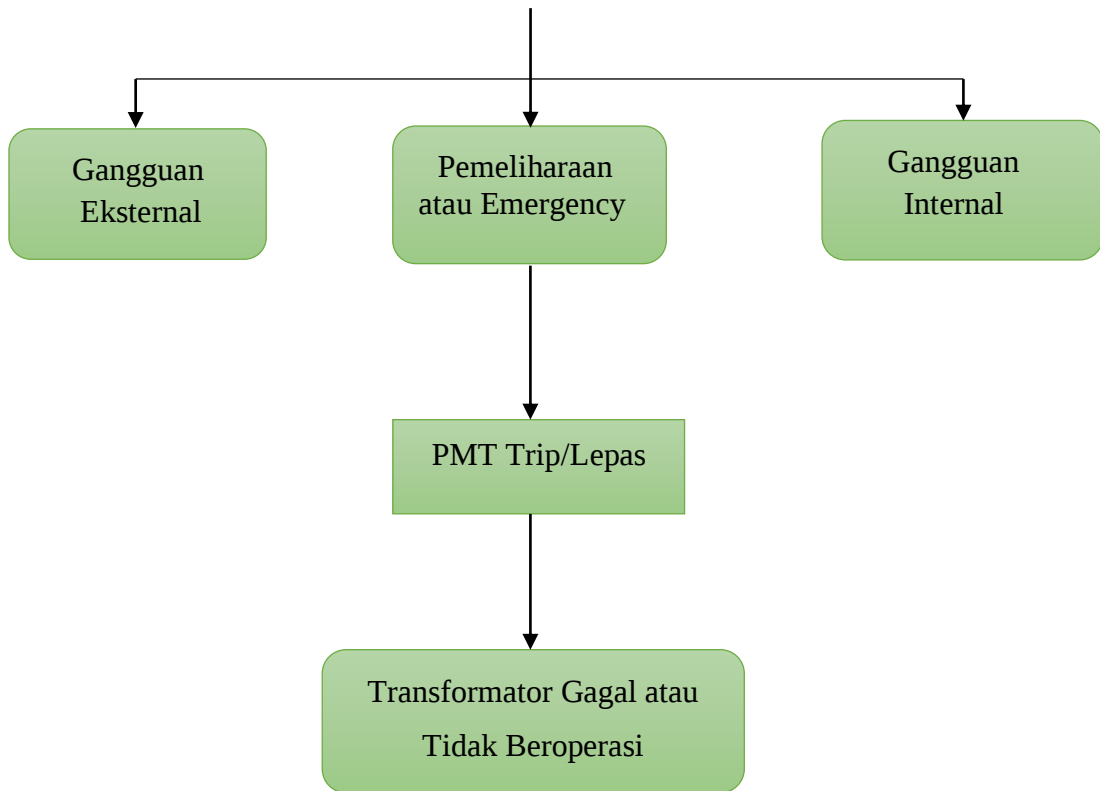
- Gangguan Hubung Singkat Antar belitan dan Inti Tranformator Daya
- Gangguan Hubung Singkat Belitan dengan Tangki Transformator Daya
- Gangguan Pada Isolasi (Minyak) Transformator Daya.

2.3.3 Diagram Alir Gangguan

Kegagalan transformator daya pada umumnya disebabkan oleh gangguan, baik gangguan eksternal maupun internal. Meskipun telah dilindungi oleh rele proteksi, gangguan yang mengakibatkan PMT trip, sehingga transformator daya tidak melayani beban tetap tidak bisa dihindari.

Berikut adalah gambar diagram alir gangguan dan penanganan gangguan penyebab PMT transformator daya trip/lepas.

Transformator

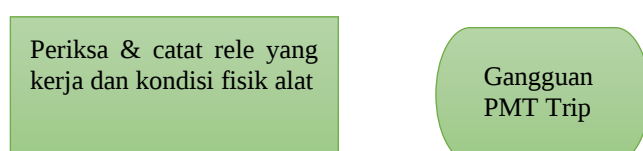


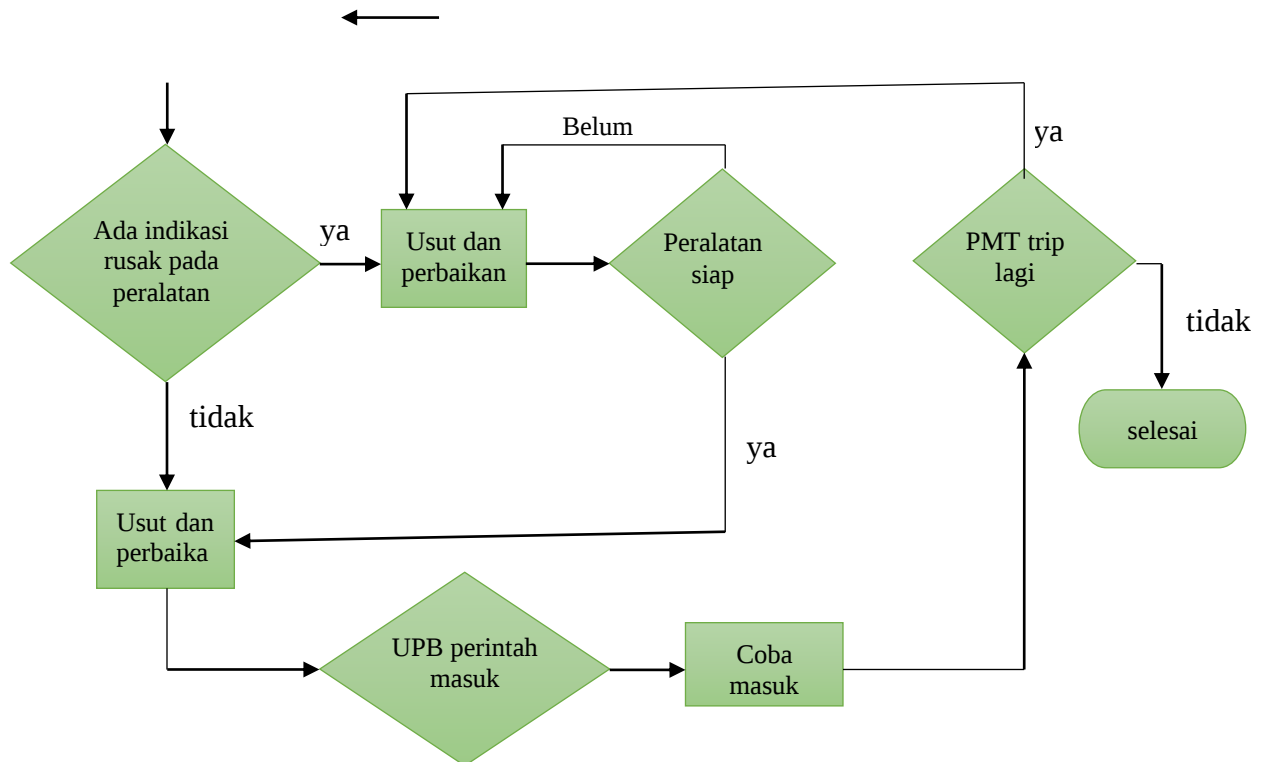
Gambar 2.3 Diagram Alir Gangguan

(Sumber : GI Skyline)

Pada diagram alir gangguan penyebab PMT (Pemutus Tenaga) Trip/Lepas, bisa dilihat bahwa ada 2 kondisi PMT yaitu : Trip dan Lepas, Rele OCR dan GFR bekerjasama dengan PMT (Pemutus Tenaga) untuk melindungi transformator daya dari gangguan penyebab kerusakan. PMT (Pemutus Tenaga) trip disebabkan oleh gangguan Eksternal dan gangguan Internal, sedangkan PMT (Pemutus Tenaga) lepas disebabkan oleh Pemeliharaan, ada juga keadaan *Emergency* (darurat) yang bisa membahayakan transformator daya.

2.3.4 Diagram alir mengatasi gangguan





Gambar 2.4 Diagram Alir Mengatasi Gangguan
(Sumber : GI Skyline)

Pada diagram alir mengatasi gangguan, bisa dilihat bahwa kerjasama antar rele dan PMT. Saat PMT trip, dilakukan pencatatan dan pelaporan kepada UPB (Unit Penyaluran Beban) Skyline, kemudian diperiksa rele yang bekerja, maka dapat diketahui gangguan penyebab PMT trip. Setelah itu dilakukan pemeriksaan adakah kerusakan peralatan atau tidak. Jika ya, lakukan perbaikan atau pergantian alat. jika tidak ada kerusakan alat, diperbaiki sumber kerusakan. Setelah selesai perbaikan, diberikan laporan kepada UPB (Unit Penyaluran Beban) Skyline, UPB (Unit Penyaluran Beban) Skyline memberi perintah PMT masuk. Jika PMT masih trip, dicatat dan dilaporkan kembali kepada UPM (Unit Penyaluran Beban) Skyline,

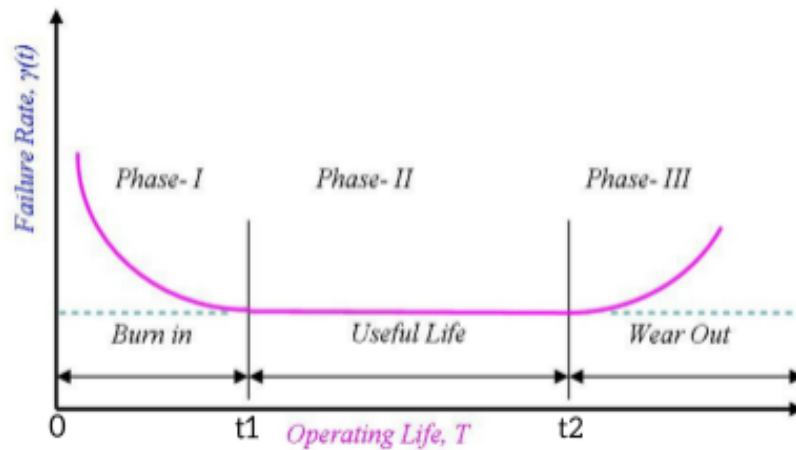
kemudian lakukan pemeriksaan lagi. Jika PMT tidak trip, lakukan pencatatan, dan laporkan kepada UPB (Unit Penyaluran Beban) Skyline.

2.4 Kegagalan Sistem atau Komponen

Kegagalan (*failure*) pada system transformator muncul system sebuah system atau komponen berhenti melakukan fungsi atau kerja yang diberikan padanya. Karakteristik Kegagalan system atau komponen dapat dilihat dari *kurva Bathtub* (Bak mandi) (PLN P3B, 2009).

2.4.1 Kurva Laju Kerusakan

Kurva laju kerusakan menunjukkan pola laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk yang dikenal dengan istilah kurva bak mandi (*bathtub curve*). Disebut sebagai kurva bak mandi dikarenakan bentuknya seperti bak mandi. Sistem yang memiliki fungsi laju kerusakan ini pada awal siklus penggunaannya mengalami penurunan laju kerusakan (kerusakan dini), kemudian diikuti oleh laju kerusakan yang mendekati konstan (usia pakai), lalu mengalami peningkatan laju kerusakan (melewati masa pakai). Adapun kurva bak mandi tersebut terlihat seperti pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2. 5 Kurva bak mandi (*Bathtub Curve*)
(Sumber : Ebeling,1997)

Kurva tersebut terdiri dari 3 fase, yaitu :

1. Fase *Burn-in*

Fase ini terdiri pada periode 0 sampai dengan t_1 . Kurva menunjukkan laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu. Laju kerusakan seperti ini disebut juga dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Laju kerusakan umumnya disebabkan oleh kesalahan manufacturing seperti desain peralatan yang kurang sempurna, control kualitas yang rendah dan sebagainya.

2. Fase *Useful-life*

Fase ini terjadi antara periode t_1 dan t_2 . Laju kerusakan yang terjadi cenderung konstan, sehingga fase ini disebut juga dengan *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat acak, dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan manusia.

3. Fase *Wear-Out*

Fase ini terjadi setelah periode t_2 . Laju kerusakan menunjukkan peningkatan dengan bertambahnya waktu, sehingga fase ini disebut *Increasing Failure Rate* (IFR). Kerusakan pada periode ini disebabkan oleh keausan peralatan, fatigue dan korosi.

2.4.2 Klasifikasi Kegagalan

1. Jenis

Jenis kegagalan dapat dilihat berdasarkan pengaruh lokal yang diberikan akibat kegagalan tersebut.

2. Penyebab

Penyebab dari kegagalan bisa jadi karena kegagalan intrinsik yang ditunjukkan oleh ketidakmampuan sebuah sistem dan komponen listrik, Sedangkan kegagalan *ekstrinsik* ditunjukkan dengan *error*, salah penggunaan ketika perancangan, produksi dari sistem dan komponen listrik.

3. Efek

Efek atau konsekuensi akibat kegagalan berbeda pada sistem atau komponen. Adapun pembagiannya yaitu sebagian (*partial*), lengkap (*complete*), kritis (*critical failure*).

4. Mekanisme

Kegagalan mekanisme merupakan kegagalan yang terjadi secara fisik, kimia atau proses lainnya yang berakhir dengan kegagalan (PT PLN O3B, 2009).

2.5 Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya setiap perusahaan utilitas listrik bertujuan untuk dapat menyalurkan daya kepada pelanggan secara terus menerus. Karena berhentinya pelayanan sama dengan kerugian secara ekonomi. Salah satu indikasi sistem atau komponen mempunyai nilai keandalan yang baik bisa dilihat dari kegagalan atau waktu sering atau tidaknya beroperasi, bisa karena gangguan, maupun pemeliharaan sistem ataupun komponen.

Saat ini telah banyak teori tentang keandalan, keandalan bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem atau komponen, dan didasari oleh kegagalan sistem atau komponen tersebut. Teori-teori keandalan tersebut dapat berupa memperidiksi umur sistem atau komponen, mengetahui laju keagalannya, memprediksi peluang waktu terjadi kegagalan berikutnya, dan lain sebagainya. Berbeda karakter kegagalan sistem atau komponen, maka berbeda pula pola distribusi yang digunakan untuk menganalisis keandalan sistem atau komponen.

Masing-masing pola distribusi juga memiliki parameter dan indeks keandalan yang berbeda. Pola distribusi weibull memiliki 3 parameter yaitu parameter bentuk (*Shape parameter*), parameter skala (*Scale parameter*), dan parameter lokasi (*Location parameter*) (Wirapraja, *et al*, 2012).

2.6 Defenisi Keandalan

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. Sedangkan berdasarkan sisi pandang kuantitatif, keandalan diartikan sebagai kemungkinan tidak adanya gangguan operasional pada sistem atau komponen yang muncul hingga batas waktu tertentu.

Faktor yang mempengaruhi keandalan suatu transformator ialah penyebab gangguan transformator tidak mampu melayani beban. Hal tersebut disebabkan karena adanya gangguan internal, gangguan eksternal. Selain itu, pemeliharaan pada transformator juga berpengaruh terhadap kinerja pelayanan transformator. Adapun indikasi dari keandalan transformator daya adalah sebagai berikut:

a. Probabilitas atau Kemungkinan

Nilai yang menunjukkan kemungkinan suatu kejadian akan terjadi dari operasi yang dilakukan pada suatu komponen atau peralatan.

b. Bekerja Sesuai dengan Fungsinya

Menunjukkan tugas dari suatu komponen atau system.

c. Periode Waktu

Faktor yang menyatakan ukuran dari perioda waktu yang digunakan didalam pengukuran probabilitas. Bila tidak terdapat perioda waktu ini maka nilai keandalan tidak dapat diperoleh secara akurat.

d. Kondisi Kerja

Performa perakitan untuk menyatakan komponen atau peralatan bekerja secara memuaskan. Performa perakitan untuk menyatakan komponen atau peralatan bekerja secara memuaskan.

Keandalan dan ketersediaan sistem atau komponen tenaga listrik memiliki hubungan yang sangat erat, yakni jumlah waktu sistem atau komponen tenaga listrik bekerja sesuai dengan fungsinya. Waktu operasi sistem tenaga listrik terbagi atas dua waktu, yakni waktu kegagalan atau waktu perbaikan dan waktu sistem tenaga listrik beroperasi dalam kondisi normal. 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).

Adapun pembagian kategori dari nilai tingkat keandalan *Cronbach's Alpha* ditunjukkan seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Keandalan *Cronbach's Alpha*

Sumber : Hair et al (2010: 125)

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

2.7 Pemeliharaan Peralatan Listrik Tegangan Tinggi

Pemeliharaan pada peralatan listrik tegangan tinggi merupakan serangkaian proses tindakan atau kegiatan untuk mempertahankan peralatan dapat bekerja dengan normal sebagaimana mestinya sehingga gangguan-gangguan yang dapat membuat kerusakan pada peralatan dapat dicegah (Prayitno, & Monika).

2.7.1 Tujuan Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah untuk menjamin kontinyuitas penyaluran tenaga listrik dan menjamin keandalan, antara lain: (Prayitno, & Monika).

- Untuk meningkatkan reliability, availability dan efficiency.
- Untuk memperpanjang umur peralatan.
- Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan.
- Meningkatkan safety peralatan.
- Mengurangi lama waktu padam akibat sering gangguan.

2.7.2 Jenis–Jenis Pemeliharaan

Ada beberapa jenis pemeliharaan peralatan listrik, jenis–jenis pemeliharaan peralatan tersebut sebagai berikut : (Prayitno, & Monika).

1. ***Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)***

Predictive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan. Dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini. Cara yang biasa dipakai adalah memonitor kondisi secara online baik pada saat peralatan beroperasi atau tidak beroperasi. Untuk ini diperlukan peralatan dan personil khusus untuk analisa. Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan kondisi (*Condition Base Maintenance*)

2. ***Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)***

Preventive Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya. Kegiatan ini dilaksanakan secara berkala dengan berpedoman kepada : Instruksi Manual dari pabrik, standar-standar yang ada (*IEC, CIGRE*, dll) dan pengalaman operasi di lapangan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan waktu (*Time Base Maintenance*).

3. ***Corrective Maintenance***

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan

funksinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini disebut juga *Curative Maintenance*, yang bisa berupa *Trouble Shooting* atau penggantian part/bagian yang rusak atau kurang berfungsi yang dilaksanakan dengan terencana.

4. ***Breakdown Maintenance***

Breakdown Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tertentu dan sifatnya darurat.

2.8 **Distribusi Weibull**

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. Hal tersebut dikarenakan distribusi ini dapat digunakan untuk laju kegagalan yang meningkat maupun laju kegagalan yang menurun. Terdapat dua parameter yang digunakan pada distribusi ini yaitu α sebagai parameter skala (*scale parameter*) dan θ sebagai parameter bentuk (*shape parameter*).

Dalam tugas akhir ini, peneliti menggunakan pola distribusi weibull, dikarenakan tugas akhir ini memiliki karakteristik kegagalan komponen yang bersifat random dan tidak terprediksi sesuai dengan pola distribusi Weibull (Fanila, *et al*, 2013).

2.8.1 **Parameter Distribusi Weibull**

Masing-masing pola distribusi statistika mempunyai parameternya tersendiri. Adapun parameter pada distribusi Weibull mempunyai yakni, Parameter Skala (*Scale Parameter*) dan Parameter Bentuk (*Shape Parameter*). (Fanila, *et al*, 2013).

1. Parameter Skala (*Scale Parameter*)

Parameter skala merupakan jenis parameter yang paling umum dari parameter. Mayoritas distribusi dalam keandalan atau bidang analisis survival memiliki parameter skala. Pada kasus satu parameter distribusi, parameter satunya adalah parameter skala. Skala parameter mengartikan dimana sebagian besar distribusi tersebut berada, atau bagaimana mengulurkan distribusinya.

2. Parameter Bentuk (*Shape Parameter*)

Seperti namanya, parameter bentuk membantu dalam penentuan bentuk distribusi. Beberapa distribusi, seperti eksponensial atau normal, tidak memiliki parameter bentuk karena kedua distribusi tersebut memiliki bentuk standar yang tidak berubah. Pengaruh parameter bentuk distribusi yang tercermin dalam bentuk pdf, fungsi keandalan dan fungsi tingkat kegagalan.

2.8.2 Estimasi 2 Parameter Weibull

Dalam menghitung nilai indeks keandalan distribusi Weibull, peneliti terlebih dahulu menghitung nilai parameter-parameter distribusi weibull-nya. Menurut Hazhiah *et al*, 2012 Terdapat dua metode untuk menghitung parameter-parameter distribusi Weibull, meliputi:

1. Metode Grafik

Metode grafik pada umumnya digunakan dikarenakan metodenya singkat dan juga cepat, namun kurang akurat. Terdapat dua cara pada metode grafik yakni Weibull *probability plotting* dan *Hazard Plotting Tehnique*.

2. Metode Analisis

Metode analisis pada distribusi weibull terdiri atas 3 jenis yakni, metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE), *Method of Moments* (MOM), *Least Square Method* (LSM). *Least Square Method* (LSM) adalah salah satu metode analisis yang digunakan untuk menghitung dua parameter distribusi weibull. Pada tugas akhir ini peneliti menggunakan *Least Square Method* (LSM) untuk menghitung parameter-parameter distribusi Weibull karena lebih mudah dan praktis dalam melakukan perhitungan dengan data yang dimiliki.

Logaritma natural untuk fungsi distribusi kumulatif akan diambil untuk mendapatkan hubungan antara fungsi kumulatif dan parameter:

$$F(t) = 1 - R(t) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$1 - F(t) = e^{-(\frac{t}{a})^\theta} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\ln\left(\ln\frac{1}{1-F(t)}\right) = \theta(\ln(t) - \ln(a)) \dots\dots\dots(2.5)$$

Selanjutnya digunakan pendekatan tingkat rata-rata (*the mean rank approach*) untuk waktu kegagalan (*failure time*) dalam bentuk:

$$F(t_i) = \frac{i}{n+1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan demikian, dari persamaan (2.5) dan (2.6) diperoleh model regresi linear untuk distribusi Weibull sebagai berikut:

$$\ln\left(\ln\frac{1}{1-\frac{i}{n+1}}\right) = \theta(\ln(t) - \ln(a)) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Misalkan: } \ln\left(\ln\frac{1}{1-F(t)}\right) = y \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln(\ln \frac{1}{1-F(t)})) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\ln(t) = x \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t(i) \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\theta = \frac{\{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i)) \cdot (\ln[\ln \frac{1}{1-F(t)}])\} - \{\sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{1-F(t)})\} \cdot \sum_{i=1}^n \ln t(i)}{\{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i))^2\} - \{\sum_{i=1}^n \ln t(i)\}^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$a = e^{(\frac{\bar{x} - \bar{y}}{\theta})} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$F(t)$ = Fungsi peluang kumulatif (PDF)

θ = *Shape parameter*

a = *Scade parameter*

n = Jumlah kumulatif kegagalan

2.8.3 Indeks Keandalan Distribusi Weibull

Distribusi Weibull mempunyai beberapa indeks keandalan yakni laju kegagalan dan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*): (M. Mirzai, et al, 2006).

1. Laju Kegagalan atau Fungsi Hazard

Laju kegagalan atau fungsi hazard merupakan frekuensi suatu sistem atau komponen yang gagal bekerja, yang disimbolkan dengan λ (lambda). Adapun persamaan laju kegagalan atau fungsi hazard secara umum sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \dots\dots\dots(2.13)$$

Persamaan (2.12) disubstitusikan ke persamaan (2.13) sehingga diperoleh persamaan,

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-\int_0^t f(t)dt} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$f(t) = \frac{\theta t^{\theta-1}}{\theta a} e^{-(\frac{t}{a})^\theta} \dots\dots\dots(2.15)$$

Kemudian persamaan (2.15) disubstitusikan ke persamaan (2.14) sehingga persamaannya,

$$\lambda(t) = \frac{[\frac{\theta t^{\theta-1}}{a^\theta} e^{-(\frac{t}{a})^\theta}]}{[1-\int_0^t \frac{\theta t^{\theta-1}}{a^\theta} e^{-(\frac{t}{a})^\theta}]} \dots\dots\dots(2.16)$$

Fungsi laju kecepatan Hazard adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\theta}{a} \frac{t^{\theta-1}}{a} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

$\lambda(t)$ = Fungsi laju kegagalan atau % fungsi hazard

a = scale parameter

θ = shape parameter

2. MTTF (*Mean Time To Failure*)

MTTF merupakan waktu rata-rata terjadi kegagalan pada suatu sistem atau komponen. Adapun persamaan umum dari MTTF adalah sebagai berikut:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \dots\dots\dots(2.18)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt \dots\dots\dots(2.19)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(2.20)$$

$$MTTF = \int_0^t e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

MTTF = Waktu rata-rata terjadi kegagalan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Fungsi laju kegagalan atau fungsi hazard

$F(t)$ = Probabilitas fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$ = Fungsi kepekatan