

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemeliharaan Peralatan Listrik

Pemeliharaan peralatan listrik adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan Kegagalan. Tujuan dari adanya pemeliharaan peralatan listrik, antara lain : (P3B,2003;2)

- Untuk memperpanjang umur peralatan listrik
- Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kegagalan peralatan listrik
- Meningkatkan keamanan dalam penggunaan peralatan listrik
- Mengurangi lama waktu padam akibat sering terjadi gangguan.

Jenis pemeliharaan dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu pemeliharaan rutin dan pemeliharaan non rutin. Berikut yang termasuk kedalam pemeliharaan rutin : (Corder,1988;4)

- ***Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)***

Adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinan peralatan listrik tersebut akan mengalami kegagalan. Dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala Kegagalan secara dini. Dan cara yang bisa dipakai adalah memonitor kondisi baik saat peralatan tersebut beroperasi maupun tidak beroperasi.

- ***Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)***

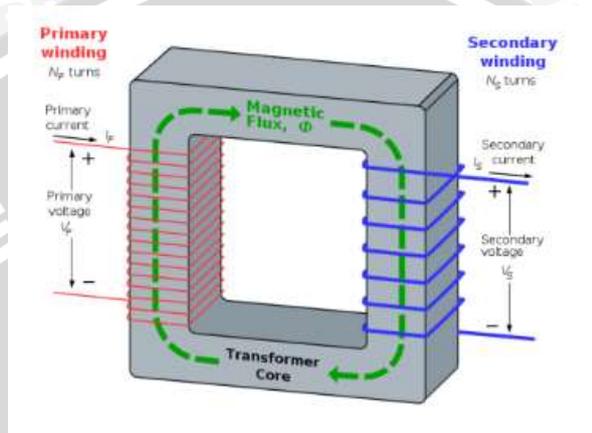
Adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya Kegagalan peralatan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan kinerja dari peralatan yang optimum sesuai dengan umur teknisnya. Kegiatan ini dilakukan secara berkala dengan berpedoman kepada : instruksi dari perusahaan, standar-standar yang ada (IEC, IEEE, dll) dan pengalaman operasi lapangan

- ***Corrective Maintenance***

Adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetulan dan reparasi) yang telah berhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.

2.2 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. (Sumanto, 1996;1) Transformator disebut peralatan statis karena tidak memiliki bagian yang bergerak atau berputar. Perubahan tegangan dilakukan dengan memanfaatkan prinsip induktansi elektromagnetik pada lilitan. Bagian transformator dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Transformator

Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Transformator>

Keterangan gambar :

- V_p : tegangan primer
- V_s : tegangan sekunder
- I_p : arus primer
- I_s : arus sekunder
- N_p : jumlah lilitan kumparan primer
- N_s : jumlah lilitan kumparan sekunder
- ϕ_b : fluks magnet bersama

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik I_p pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I_p menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibatnya adanya fluks magnet yang berubah-ubah pada kumparan primer dan sekunder akan timbul GGI. (Sumanto, 1996;2)

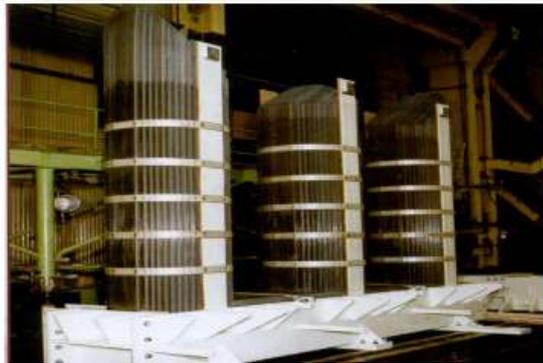
2.3 Bagian-Bagian Transformator

Transformator terdiri dari beberapa bagian yaitu :

2.3.1. Bagian utama

1) Inti Besi

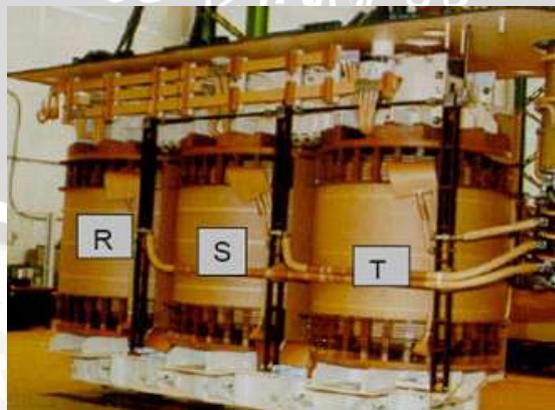
Inti besi pada transformator berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan melalui kumparan. Kumparan tersebut dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy. Inti besi dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Inti Besi
Sumber : PT PLN(Persero) P3B, 2003;18

2) Kumparan Transformator

Adalah beberapa lilitan kawat yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan skunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain, dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus. Seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kumparan Transformator Fasa RST
Sumber : PT PLN(Persero) P3B, 2003;18

3) Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti transformator tenaga diredam dalam minyak transformator, seperti pada Gambar 2.4, terutama transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak transformator tersebut berfungsi sebagai media pendingin isolasi. Jenis minyak transformator yang sering dijumpai adalah jenis Diala A, Diala B, dan Mectran.



Gambar 2.4 Minyak Transformator

Sumber : <http://ilmulistrik.com/pengujian-tegangan-tebus-minyak-isolasi-trafo.html>

4) Bushing

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki transformator. Bushing ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Contoh Bushing Transformator
Sumber : PT PLN (Persero) P3B, 2003;20

5) Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian yang teredam minyak transformator berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak transformator, tangki dilengkapi dengan konservator. Terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Tangki Konservator
Sumber: PT PLN (Persero) P3B, 2003;23

2.3.2 Peralatan bantu

1) Pendingin

Pada inti besi dan kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan akan dapat merusak isolasi pada transformator. Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Media yang dapat dipakai pada sistem pendingin dapat berupa udara/gas, minyak, air, dsb. Sedangkan sirkulasi dapat dengan dua cara yaitu : Alamiah (*natural*) pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar, diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antar media (minyak- udara/gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (Radiator) dan Secara Paksa (*Forced*) bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara, dan air. Cara ini disebut dengan pendinginan paksa (*Forced*). Seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Pendingin Paksa untuk Transformator
Sumber : PT PLN (Persero) P3B, 2003; 26

2) Tap Changer (Perubahan Tap)

Adalah alat perubahan perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik. *Tap changer* hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban disebut “Off Load Tap Changer” dan hanya dapat dioperasikan manual.

3) Alat pernapasan (Silcagel)

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Sehingga kedua proses diatas disebut dengan pernapasan transformator.

Akibat pernapasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan, berupa tabung kaca berisi kristal zat higroskopis. Dimana silcagel ini sebagai pengontrol kelembaban dan dapat berubah warna tergantung dari kadar kelembaban transformator. Silcagel dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Alat Pemasangan Berupa Silcagel
Sumber : PT PLN (Persero) P3B, 2003;30

4) Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator. Pada transformator terdapat beberapa indikator antara lain, indikator level minyak, indikator suhu minyak, indikator suhu belitan dll.

2.4 Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi sebagai insulator yaitu mengisolasi kumparan dalam transformator agar tidak terjadi loncatan bunga api (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi. Selain itu juga untuk melindungi komponen-komponen di dalam transformator terhadap korosi dan oksidasi. Karena merupakan komponen penting bagi transformator untuk itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Kekuatan isolasi harus tinggi.
- Kejernihan penampilan, yaitu minyak harus memiliki warna yang jernih dan bersih. Selama dioperasikan minyak isolator akan melarutkan endapan, semakin banyak endapan yang terlarut maka warna minyak akan semakin gelap.
- Viskositas (Kekentalan) yang rendah semakin bagus pula konduktivitas termalnya sehingga kualitas minyak transformator juga semakin bagus. Dikarenakan lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Sesuai dengan standar *IEC-296*.

- Massa jenis, yaitu merupakan perbandingan massa suatu volume cairan dengan air pada volume dan temperatur yang sama. Masa jenis transformator harus lebih rendah daripada massa jenis air.
- Titik nyala, menunjukkan bahwa minyak transformator dapat dipanaskan sampai temperatur tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Sehingga makin tinggi nilai titik nyala maka kualitas minyak transformator semakin baik. Sesuai dengan standart **IEC-296** dengan flash point minyak transformator diatas 163°C .
- Titik tuang, adalah temperatur terendah saat minyak akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur dibawah temperatur normal. Minyak tuang diharapkan memiliki titik tuang serendah mungkin. Dengan mengacu pada standar **IEC-296 pour point** dibawah -30°C
- Angka kenetralan, adalah angka yang menunjukkan penyusunan asam minyak isolator dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia, cacar, atau indikasi perubahan kimia naham tambahan.
- Kemampatan oksidasi, adalah proses oksidasi yang menyebabkan bertambahnya kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kotoran zat padat yang nantinya akan membentuk endapan. Asam dapat menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator sedangkan kotoran zat padat menyebabkan transfer panas menjadi terganggu.
- Kandungan air, dengan adanya kandungan air dalam minyak transformator akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak, serta memacu munculnya hot spot sehingga akan mempercepat Kegagalan pada isolasi kertas. Sehingga minyak isolasi diharapkan memiliki kandungan air yang serendah mungkin.
- Tegangan tembus, adalah kemampuan minyak untuk menahan tegangan elektrik. Kandungan air bebas dan partikel-partikel konduktif dapat menaikkan tingkat tegangan tembus. Minyak isolasi diharapkan memiliki tegangan tembus yang tinggi. Standart tegangan tembus ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Kekuatan Dielektrik dari Minyak untuk Tegangan Operasi
Tegangan Tembus Minyak Transformator

Tegangan Operasi (kV)	Untuk Minyak Baru	Untuk Minyak Sudah Dipakai
	IEC 156 KV/2,5 mm	IEC 156 KV/2,5 mm
> 170	≥ 50	≥ 50
70 – 170	≥ 50	≥ 40
< 70	≥ 50	≥ 30

Sumber : PT PLN (Persero) P3B (2003:33)

2.5 Pemeriksaan Minyak Transformator

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk menjaga kondisi dari transformator adalah dengan mengetahui kualitas dari minyak transformator. Pemeriksaan dari minyak transformator meliputi :

- Pemeriksaan level minyak transformator, untuk mengetahui volume.
- Pemeriksaan temperatur dari minyak transformator
- Pemeriksaan kualitas minyak transformator.

2.5.1 Level minyak transformator

Minyak transformator ditempatkan di dalam konservator. Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator maka minyak isolasi akan memuai sehingga volume minyak akan bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak transformator akan menyusut dan volume minyak akan turun. Sehingga secara tidak langsung perubahan suhu pada transformator akan mempengaruhi.

Oli dalam transformator merupakan media isolasi dan sekaligus sebagai media pendingin belitan, untuk itu volume oli transformator harus dimonitoring dengan baik. Pemeriksaan level minyak perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui apakah minyak masih dalam batas yang diijinkan, jika ditemui keadaan yang abnormal maka perlu diteliti penyebabnya untuk mengetahui adanya kebocoran pada tangki, selain itu juga perlu dilakukan pengecekan pada *valve*, bushing, dan juga radiator. Apabila level minyak terlalu rendah akan menyebabkan timbulnya *overheating*, *arching*, dan *flashover*. Sedangkan jika level minyak terlalu tinggi akan menyebabkan tekanan pada tangki semakin tinggi, disaat terjadi kenaikan suhu.

2.5.2 Pemeriksaan temperatur minyak transformator

Minyak transformator yang baru dipasang pada transformator akan bekerja sebagai isolasi dari transformator. Transformator tersebut bekerja pada keadaan optimum secara terus menerus sehingga menyebabkan temperatur minyak dari transformator akan naik. Temperatur minyak yang tinggi ini akan menyebabkan pemanasan pada transformator yang selanjutnya akan menyebabkan pemanasan pada minyak transformator tersebut. Dalam keadaan yang buruk minyak akan menghasilkan endapan dari hasil oksidasi. Dengan semakin tingginya pembebanan transformator maka reaksi kimia yang terjadi di dalam minyak transformator semakin cepat sehingga kandungan asam akan semakin kuat dan semakin banyak endapan yang dihasilkan. Endapan ini dapat menyumbat celah pendingin, sehingga mengganggu fungsi minyak sebagai media isolasi dan media pendingin.

Tinggi rendahnya suhu yang terjadi pada transformator sangat berpengaruh terhadap usia transformator. Suhu operasi yang terlalu tinggi atau melebihi batasan yang ditentukan akan berakibat menurunnya nilai tahanan isolasi baik isolasi kertas maupun isolasi minyak. Untuk menjaga agar kenaikan suhu tidak melampaui batas yang ditentukan, maka pada transformator dipasang termometer untuk memantau suhu operasi transformator. Pada termometer suhu dilengkapi dengan kontak – kontak untuk fungsi alarm dan fungsi trip.

2.5.3 Pemeriksaan kualitas minyak transformator

Salah satu metode untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*).

DGA adalah proses untuk menghitung kadar atau nilai dari gas-gas yang terkandung dalam minyak transformator. Dari hasil DGA dapat diidentifikasi gangguan yang akan terjadi sebagai informasi diagnosis awal, serta mempercepat menemukan cara dalam pemeliharaan transformator. Gas yang dihasilkan berasal dari Kegagalan minyak isolasi, yang pada dasarnya memiliki sifat mudah terbakar. Gas-gas tersebut terlarut sehingga akan dapat menurunkan kualitas minyak. Selain itu dalam pengujian DGA juga didapatkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustion Gas*), berikut adalah pembangian kondisi minyak transformator berdasarkan kandungan gas terlarut sesuai pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 IEEE limits (Kondisi Level)

Pembagian Kondisi Gas	Gas (ppm)							
	H_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_2H_8	C_2H_2	CO_2	$TDCG$
Kondisi I	100	350	120	50	65	35	2500	720
Kondisi II	700	570	140	100	100	50	4000	1660
Kondisi III	1800	1400	1000	200	150	80	10000	4630
Kondisi IV	>1800	>1400	>1000	>200	>150	>80	>10000	>4630

Sumber : IEEE, std C57. 104,1991

2.6 Pembebanan Transformator

Berdasarkan IEC-76 transformator yang dirancang dengan syarat pelayanan antara lain bahwa untuk transformator yang brependingin udara maka suhu udara tidak boleh melampaui :

- 30°C rata-rata harian
- 20°C rata-rata tahunan

Selain itu suhu tidak boleh melampaui 40°C dan lebih rendah dari -25°C (pasangan luar) atau -5°C (pasangan dalam). Transformator tersebut dapat dibebani 100% selama 24 selama terus-menerus.

Menurut SPLN 17-1978 suhu rata-rata tahunan di Indonesia antara 24°C sampai 27°C untuk musim penghujan atau kemarau dan di beberapa daerah di Indonesia suhu rata-rata tahunan pada musin kemarau 30°C. Dengan demikian jelas bahwa bila sebuah transformator dioperasikan dengan beban penuh secara kontinyu dan tidak terputus, maka transformator ini akan mengalami “Kenaikan Susut Umur”, dengan kata lain mengalami umur yang pendek. Maka perlu memperhatikan pembebanan sehingga tidak melampaui batas pemburuan isolasi.

Sehingga berdasarkan hal tersebut maka diperlukan pedoman pembebanan transformator sesuai dengan keadaan Indonesia. Standart yang mengatur pembebanan transformator minyak adalah SPLN 17-1979.

2.7 Teori Statistika

Statistika membahas metode-metode ilmiah untuk pengumpulan, pengorganisasian, penyimpulan, penyajian dan analisis data mapun menarik kesimpulan dan membuat keputusan yang dapat diterima berdasarkan analisis. (Spigel, 1996;12)

Salah satu metode pengelompokan data dalam statistika adalah dengan distribusi frekuensi. Distribusi frekuensi adalah suatu penyusunan tabulasi data memakai kelas bersama dengan frekuensi kelas yang berhubungan. (Spigel, 1996;37)

Dalam pembentukan tabel distribusi frekuensi terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu sebagai berikut : (Supranto, 2000;63)

1. Menentukan jumlah kelas

Penentuan jumlah kelas umumnya tergantung pada ciri-ciri data dan tujuan penggunaan data itu sendiri. Untuk menentukan jumlah kelas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$k = 1 + 3,3 \log n \quad (2.1)$$

dengan :

k : jumlah kelas

n : jumlah data

2. Interval Kelas

Disarankan interval kelas atau lebar kelas adalah sama untuk setiap kelas.

Untuk interval kelas dapat dihitung dengan rumus :

$$c = \frac{X_n - X_i}{k} \quad (2.2)$$

dengan :

c = interval kelas / panjang kelas

k = banyaknya kelas

X_n = data terbesar

X_i = data terkecil

Standar deviasi (simpangan baku) adalah ukuran-ukuran keragaman (variasi) data statistik yang paling sering digunakan. Perhitungan standar deviasi dengan menggunakan rumus : (Robert, 1998;132)

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}} \quad (2.3)$$

dengan :

S = standar deviasi

n = jumlah data

x = data

x' = rata-rata data

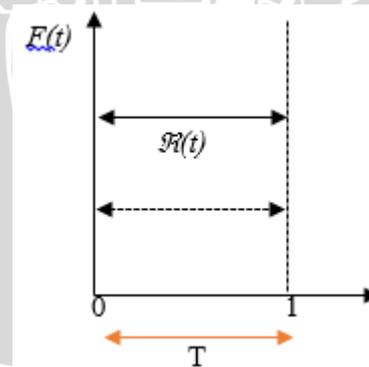
2.8 Teori Ilmu Peluang

Ilmu peluang merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan terhadap ketidakpastian. Dalam mempelajari ilmu peluang perlu diketahui kumpulan semua kemungkinan yang disebut sampel dan setiap kejadian sebagai bagian atau kelompok dari ruang sampel yang disebut kejadian (even). Dengan menghubungkan untuk setiap kejadian berkisar antara 0 hingga 1, dapat menunjukkan pengertian hubungan setiap kejadian yang disebut peluang kejadian. Bila suatu keadaan diyakini terjadi, maka peluangnya 1, bila diyakini tidak akan terjadi, maka peluangnya 0. Dalam persamaan matematis ini peluang untuk suatu kejadian X dapat terjadi dan dituliskan sebagai $P(A)$. (T. Dimiyanti, 2010;301)

2.9 Analisis Keandalan dan Ketersediaan

Keandalan (*reliability*) adalah peluang suatu komponen atau sistem untuk memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu yang diberikan selama digunakan dalam kondisi beroperasi. Dengan kata lain keandalan adalah peluang tidak terjadi kegagalan selama masa beroperasi. (E. Brown Richard 2009;48)

Suatu peralatan dinyatakan memiliki dua state yaitu “baik” dan “rusak” yang merupakan proses probabilitas, sehingga jika keandalan berharga 1, maka sistem dapat dipastikan dalam keadaan baik dan jika berharga 0 maka dipastikan sistem dalam keadaan rusak. Jika keandalan adalah $\mathcal{R}(t)$ maka keandalan berkisar $0 \leq \mathcal{R}(t) \leq 1$ sehingga dapat digambarkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Fungsi Keandalan Fungsi Waktu

Sumber : (Ansori, 2013;16)

Jadi keandalan dapat dihitung dengan rumus : (Nachnul, 2013;16)

$$\begin{aligned} \mathcal{R}(t) &= \int_1^{\infty} f(t) dt \\ &= 1 - F(t) \text{ untuk } 0 \leq \mathcal{R}(t) \leq 1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

dengan :

$\mathcal{R}(t)$ = Fungsi keandalan

$F(t)$ = Probabilitas Kegagalan

Fungsi probabilitas laju keandalan pada waktu t dituliskan dengan : (Roger, 2006;137)

$$\mathcal{R}(t) = \frac{n-x}{n} \quad (2.5)$$

dengan :

\mathcal{R} = *Reliability* (keandalan)

x = kegagalan

n = komponen identitas

Dengan distribusi kegagalan $F(t)$, dalam fungsi $\mathcal{R}(t)$ adalah

$$\mathcal{R}(t) + F(t) = 1 \quad (2.6)$$

Atau dapat ditulis dengan,

$$F(t) = 1 - \mathcal{R}(t) \quad (2.7)$$

Fungsi keandalan merupakan suatu fungsi matematis yang menggambarkan fungsi laju kerusakan. Laju kegagalan di simbolkan dengan λ , untuk laju kegagalan fungsi eksponensial dinyatakan dengan : (Nachnul, 2013;19)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{\mathcal{R}(t)} \quad (2.8)$$

$$= -\frac{1}{\mathcal{R}(t)} \cdot \frac{d}{dt} \mathcal{R}(t) \quad (2.9)$$

Perhitungan penting lainnya dalam mencari nilai *reliability* (keandalan) adalah mencari nilai MTTF (*Mean Time To Failure*), yaitu waktu diantara kegagalan untuk sistem yang belum diperbaiki. MTTF untuk beberapa waktu kejadian dapat dihitung dengan : (Roger, 2006;137)

$$MTTF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.10)$$

Dan untuk kegagalan konstan dinyatakan dengan :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.11)$$

Sedangkan ketersediaan (*availability*) adalah peluang suatu komponen atau sistem berfungsi menurut kebutuhan pada waktu tertentu saat digunakan dalam kondisi operasi. Dengan kata lain ketersediaan adalah peluang beroperasinya komponen atau sistem dalam waktu yang tidak ditentukan. (E. Brown Richard 2009;49).

Nilai ketersediaan menggunakan dua laju, yaitu laju kegagalan dan laju perbaikan. Laju perbaikan merupakan perubahan suatu kondisi atau sistem dari keadaan buruk menjadi keadaan yang lebih baik dan di simbolkan dengan μ .

Fungsi probabilitas laju ketersediaan pada waktu t dituliskan dengan : (Roger, 2006;139)

$$A(t) = \frac{n-x}{n} \quad (2.12)$$

dengan :

A = Availability (ketersediaan)

x = kegagalan

n = komponen identitas

Dan untuk perbaikan konstan dinyatakan dengan :

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.13)$$

2.10 Proses Markov

Markov merupakan salah satu metode stokastik yang merupakan proses acak dimana informasi tentang masa depan terkandung di dalam keadaan sekarang. Terdapat dua jenis perhitungan pada markov, yaitu markov waktu diskrit dan markov waktu kontinu. Untuk proses markov kontinu memiliki beberapa indikator yaitu : (E. Brown Richard2009;203)

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} : \text{Laju Kegagalan} \quad (2.14)$$

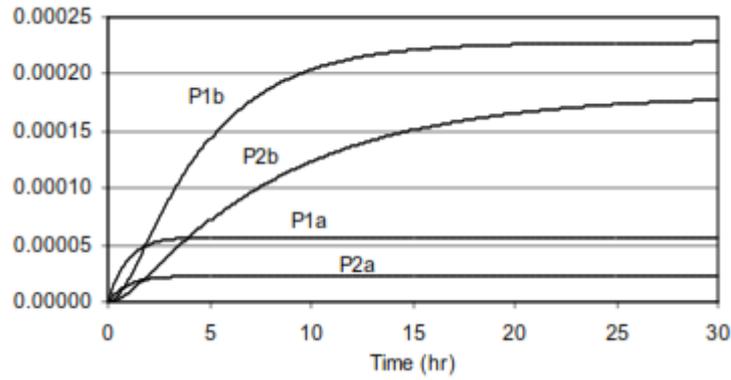
$$\sigma = \frac{1}{MTTS} : \text{Laju Perpindahan} \quad (2.15)$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} : \text{Laju Perbaikan} \quad (2.16)$$

Rantai markov kontinu digunakan untuk menentukan prediksi dari masalah dalam waktu kontinu $\{X(t), t \geq 0\}$. Untuk penyelesaian markov di gunakan matriks, yang dinyatakan dengan :

$$\begin{bmatrix} \frac{dP_0}{dt} \\ \frac{dP_{1a}}{dt} \\ \frac{dP_{1b}}{dt} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & 0 & \mu_1 & 0 & \dots \\ \lambda_1 & -\sigma_1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \sigma_1 & -\mu_1 & 0 & \dots \end{bmatrix}$$

Untuk fungsi *steady state* jika diperhitungkan dengan program computer akan menghasilkan grafik seperti Gambar 2.10



Gambar 2. 10 Hasil Perhitungan Markov
 Sumber : E. Brown Richard2009;204

dengan :
 P = menyatakan peluang kejadian n
 Time/hr = lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai proses *steady state*.

