



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

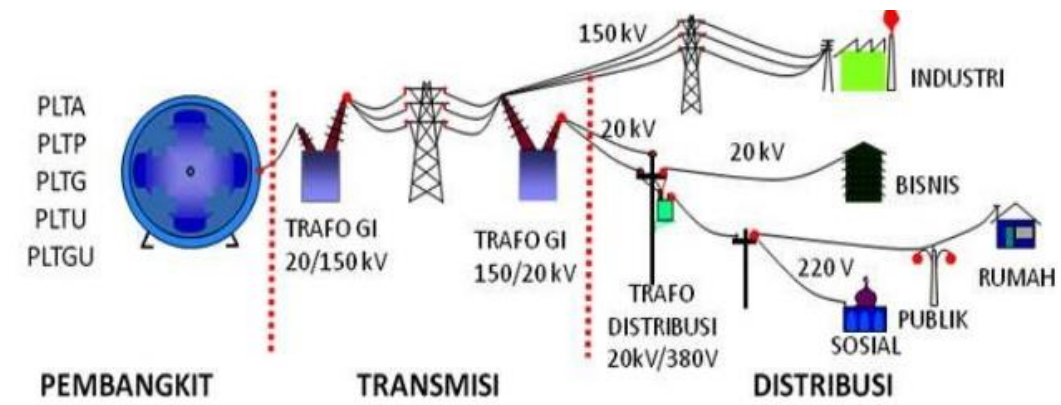
#### 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik<sup>[9]</sup>

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2.R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

---

<sup>9</sup> Suhadi dkk, 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hal 11



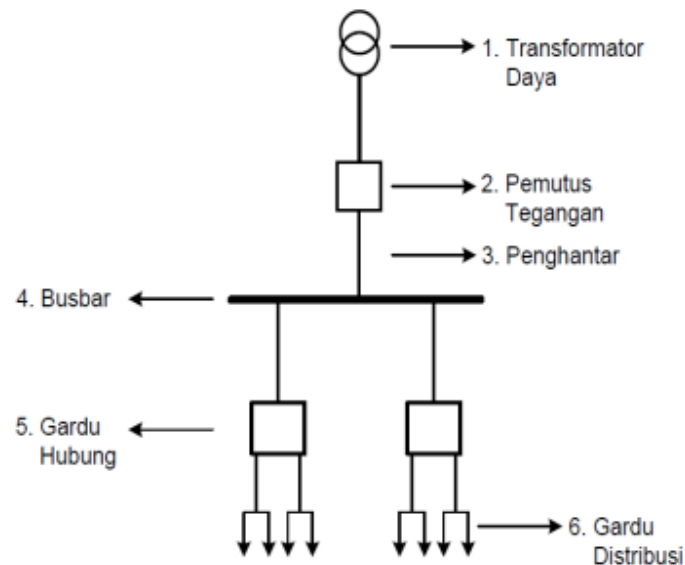
Gambar 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

## 2.2 Jaringan Distribusi

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik; ini merupakan proses membawa listrik dari sistem transmisi listrik menuju ke konsumen listrik. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan transmisinya dengan menggunakan trafo. Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dibagi menjadi dua bagian yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder.

### 2.2.1 Jaringan Sistem Distribusi Primer

Yaitu jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian di turunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan.

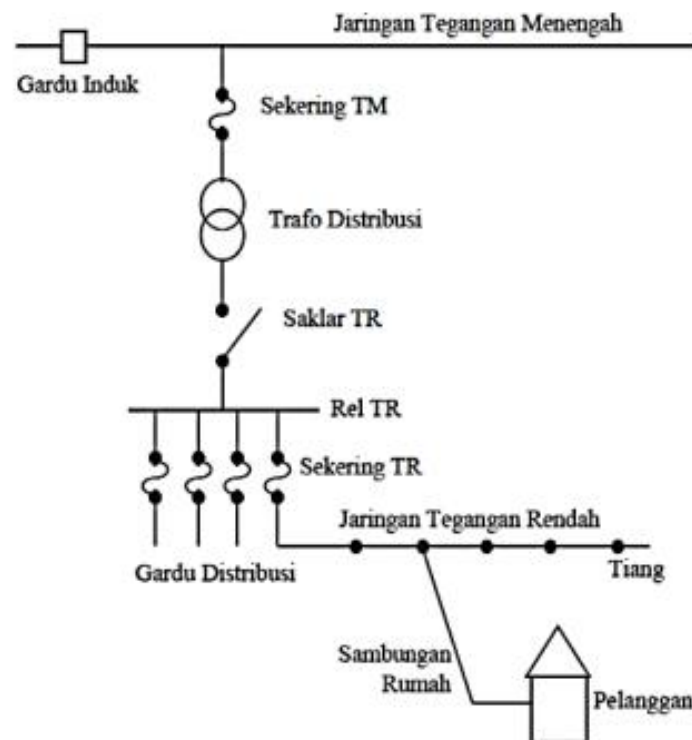


Gambar 2.2 Diagram Sistem Distribusi Primer

### 2.2.2 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder

Yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk di salurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR). Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

Konsumen rumah tangga maupun komersial biasanya terhubung dengan jaringan distribusi sekunder melalui sambungan rumah listrik. Konsumen yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi dapat mengajukan permohonan untuk langsung terhubung dengan jaringan distribusi primer, atau ke level sub transmisi.



Gambar 2.3 Diagram Distribusi Sekunder

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) berfungsi untuk menyalurkan sisi tegangan rendah transformator distribusi ke konsumen menggunakan jaringan hantaran udara 3 fasa 4 kawat dengan tegangan distribusi sekunder 220 volt (tegangan fasa-netral) atau 380 volt tegangan fasa-fasa).

Jaringan Tegangan Rendah ialah jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya dari sumber penyaluran tegangan rendah tidak termasuk SLTR. Sedangkan Sambungan tenaga listrik tegangan rendah (SLTR) ialah penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan pada JTR sampai dengan alat pembatas dan pengukur (APP).

Sistem penyaluran daya listrik pada JTR dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)



Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.

## 2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*), ukuran kabel LVTC adalah: 2 x 10mm<sup>2</sup>, 2 x 16mm<sup>2</sup>, 4 x 25mm<sup>2</sup>, 3 x 35mm<sup>2</sup>, 3 x 50mm<sup>2</sup>, 3 x 70mm<sup>2</sup>.

Menurut SPLN No.3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur. Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian JTR tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/pengukur).

### 2.3 Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas:

#### 1. Jenis pemasangannya:

- Gardu pasangan luar: Gardu Portal, Gardu Cantol
- Gardu pasangan dalam: Gardu Beton, Gardu Kios

#### 2. Jenis Konstruksinya:

- Gardu Beton (bangunan sipil: batu, beton)
- Gardu Tiang: Gardu Portal dan Gardu Cantol



- Gardu Kios

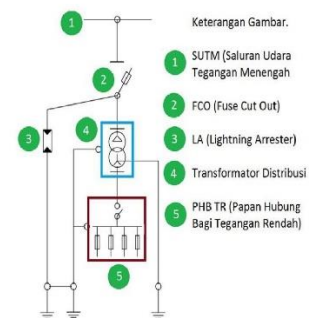
### 3. Jenis Penggunaannya:

- Gardu Pelanggan Umum
- Gardu Pelanggan Khusus

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan *manuver* pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas *DC Supply* dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

### 2.3.1 Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah *T section* dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur *Cut-Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type expulsion*) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surya petir.



Gambar 2.4 Gardu Portal dan Diagram satu garis Gardu Distribusi Portal

Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah  $\pi$  *section* dimana transformator distribusi dapat



di catu dari arah berbeda yaitu posisi *Incoming – Outgoing* atau dapat sebaliknya.

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan *switching incoming-outgoing* berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan *remote control*).

*Fault Indicator* (dalam hal ini PMFD: *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

### **2.3.2 Gardu Cantol**

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya  $\leq 100$  kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan adalah lightning arrester. Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian arrester dihubung langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (*type NH, NT*) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.



Gambar 2.5 Gardu Cantol

### 2.3.3 Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonry wall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2.6 Gardu Beton





### 2.3.4 Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.



Gambar 2.7 Gardu Kios

## 2.4 PHB sisi Tegangan Rendah (PHB-TR)

PHB sisi Tegangan Rendah (PHB-TR) adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian



penyangganya. Secara umum PHB TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pemasangan dalam adalah jenis terbuka. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus (KHA) Penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenalan gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR.



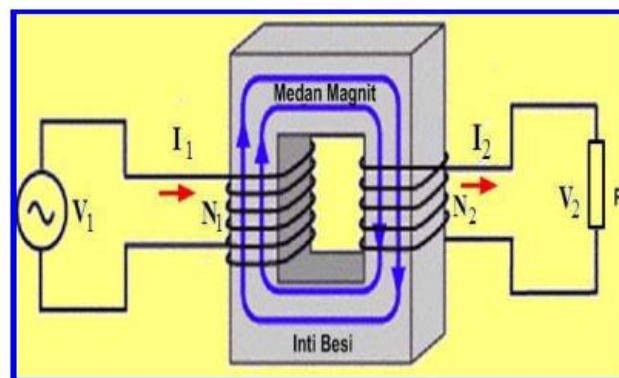
Gambar 2.8 PHB -TR

## 2.5 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya atau dapat juga diartikan mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnet.

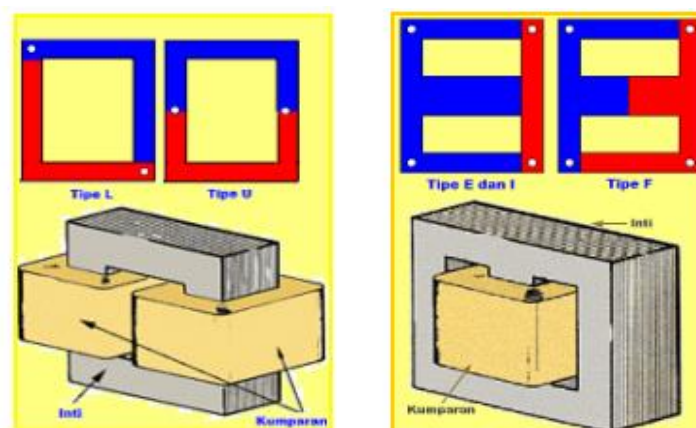


Secara konstruksinya transformator terdiri atas dua kumparan yaitu primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan terjadi pada kumparan sisi primer, kemudian fluks tersebut akan mengalir pada inti transformator, dan selanjutnya fluks ini akan mengimbas pada kumparan yang ada pada sisi sekunder yang mengakibatkan timbulnya fluks magnet di sisi sekunder, sehingga pada sisi sekunder akan timbul tegangan.



Gambar 2.9 Fluks Magnet Transformator

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua jenis transformator, yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*).



Gambar 2.10 (a) Transformator tipe Inti (b) Tipe Cangkang



Pada transformator tipe inti Gambar 2.10 (a), kumparan mengelilingi inti, dan pada umumnya inti transformator L atau U. Peletakkan kumparan pada inti diatur secara berhimpitan antara kumparan primer dengan sekunder. Dengan pertimbangan kompleksitas cara isolasi tegangan pada kumparan, biasanya sisi kumparan tinggi diletakkan di sebelah luar sedangkan pada transformator tipe cangkang Gambar 2.10 (b) kumparan dikelilingi oleh inti, dan pada umumnya intinya berbentuk huruf E dan huruf I, atau huruf F.

Untuk membentuk sebuah transformator tipe Inti maupun Cangkang, inti dari transformator yang berbentuk huruf tersebut disusun secara berlapis-lapis (laminasi), jadi bukan berupa besi pejal. Tujuan utama penyusunan inti secara berlapis ini adalah untuk mengurangi kerugian energi akibat *Eddy Current* (arus pusar), dengan cara laminasi seperti ini maka ukuran jerat induksi yang berakibat terjadinya rugi energi di dalam inti bisa dikurangi. Proses penyusunan inti transformator biasanya dilakukan setelah proses pembuatan lilitan kumparan transformator pada rangka (koker) selesai dilakukan.

## 2.6 Pembebanan transformator <sup>[8]</sup>

Menurut PT. PLN (Persero), transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 % atau dibawah 40 %. Jika melebihi atau kurang dari nilai tersebut transformator bisa dikatakan *overload* atau *underload*. Diusahakan agar trafo tidak dibebani keluar dari *range* tersebut. Persamaan berikut dapat digunakan untuk melihat besar kapasitas trafo yang ada.

$$kVA \text{ beban terukur} = (I_R \cdot V_{R-N}) + (I_S \cdot V_{S-N}) + (I_T \cdot V_{T-N}) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$I_{FL} (A) = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I_{rata-rata} (A) = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Persentase beban Transformator (\%)} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{fl}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.4)$$

<sup>8</sup> Sudiarta, I Wayan dkk. 2016. *Manajemen Trafo Distribusi 20KV Antar Gardu BI031 Dan BI033 Penyulang Liligundi dengan Menggunakan Simulasi Program Etap*. Jurnal Politeknik Negeri Bali, 16(3) : 166-171.



Dimana:

$I_R$  = Arus Fasa R

$I_S$  = Arus Fasa S

$I_T$  = Arus Fasa T

$I_{FL}$  = Arus Beban Penuh

$V_{R-N}$  = Tegangan fasa R terhadap Netral

$V_{S-N}$  = Tegangan fasa S terhadap Netral

$V_{T-N}$  = Tegangan fasa T terhadap Netral

## 2.7 Susut Umur Transformator <sup>[7]</sup>

Menurut standar IEC 354 dan IEC 60076 yang juga menjadi standar PLN (SPLN 17 A: 1979), sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi “*temperature hotspot* 98 °C pada pembebanan yang terus-menerus” dengan temperatur sekitar (*ambient temperature*) 20 °C. Ketika transformator mengalami *temperature hotspot* yang lebih besar dari 98 °C, maka susut umurnya akan semakin cepat (besar) sehingga bisa memperpendek umur dari yang diharapkan. Standar IEC 354 memberikan faktor beban terus menerus yang akan menghasilkan *temperature hotspot* 98 °C dari berbagai temperatur lingkungan dan untuk setiap jenis pendinginan, sehingga memungkinkan untuk menghitung kemampuan pembebanan terus menerus berdasarkan temperatur sekitar.

Menurut K. Najdenkoski dalam jurnalnya menyebutkan bahwa persentase kehilangan kehidupan pada trafo adalah 0,002226% dalam kehidupan normal 180.000 jam.<sup>[5]</sup>

<sup>2</sup> IEC 60354-09:1991, “*Loading Guide for OilImmersed Power Transformers*” .

<sup>5</sup> K. Najdenkoski, G. Rafajlovski, and V. Dimceev, “*Thermal aging of distribution transformers according to IEEE and IEC standards,*” 2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES, no. March 2008, 2007, doi: 10.1109/PES.2007.385642.

<sup>7</sup> SPLN-17. 1979, “*Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*”.



Tabel 2.1 Pembebanan yang Dijinkan pada Temperatur Sekitar yang Berbeda

<i>Ambient Temperature</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )			-25	-20	-10	0	10	20	30	40
<i>Load Factor</i>	<i>Distribution</i>	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	<i>Power Transformer</i>	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

Sumber: IEC 60354<sup>[2]</sup>

Berdasarkan standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) pada perhitungan umur isolasi yang normal (*normal insulation life*), IEEE menetapkan standar 180.000 jam atau setara 20,55 tahun dengan suhu titik terpanas mencapai  $110^{\circ}\text{C}$ .<sup>[3]</sup>

*International electrotechnical commission* (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari apabila di bebani 100% dari nilai rating daya transformator pada temperatur sekitar  $20^{\circ}\text{C}$ , sehingga susut umur normal adalah 0,0137% per hari.

<sup>3</sup> IEEE, *IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators - Redline*, vol. 2011, no. March. 2012. Woha Kabupaten Bima, "Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.", pp. 43–49, 2019.



Tabel 2.2 Karakteristik Termal Transformator Distribusi Pendingin ONAN menurut IEC 60076-7.

Karakteristik Termal Transformator (Simbol/Satuan)	Transformator Distribusi ONAN
Eksponen Minyak ( $x$ )	0,8
Eksponen Belitan ( $y$ )	1,6
Rasio Rugi-rugi ( $R$ )	5
Faktor Titik Panas ( $H$ )	1,1
Konstanta Waktu Minyak ( $t_o$ / h)	3,0
Suhu Sekitar ( $\theta_a$ / $^{\circ}\text{C}$ )	20
Suhu Titik Panas ( $\theta_h$ / $^{\circ}\text{C}$ )	98
Gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenalan ( $H_{gr}$ / K)	23
Kenaikan suhu minyak rata-rata ( $\Delta^{\theta}_{imr}$ / K)	44
Kenaikan suhu minyak atas ( $\Delta^{\theta}_{ir}$ / K)	55
Kenaikan suhu minyak bawah ( $\Delta^{\theta}_{br}$ / K)	33
Kenaikan suhu belitan rata-rata ( $\Delta^{\theta}_{Wr}$ / K)	65

## 2.8 Temperatur Belitan <sup>[4]</sup>

Untuk menghitung temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %, dapat menggunakan persamaan:



$$\frac{\beta_1}{\theta_1} = \frac{100\%}{\theta_2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$\beta_1$  = Faktor Pembenaan yang diijinkan pada temperature sekitar

$\theta_1$  = *Temperature Hotspot* pada kondisi normal

$\theta_2$  = Temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %

Lalu untuk menghitung temperature belitan bagian terpanas (*Hotspot*), dapat menggunakan persamaan:

$$\theta = \frac{\% \text{Pembinaan} \times \theta_2}{100} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

$\theta$  = Temperatur belitan bagian terpanas (*Hotspot*)

$\theta_2$  = Temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %

## 2.9 Sisa Umur Transformator

Menurut Hamles Leonardo Latupeirissa (2018) menyatakan bahwa: Persamaan Montsinger dapat digunakan untuk mendapatkan kecepatan relatif pada tiap titik panas diatas suhu normal ( $98^{\circ}\text{C}$ ) pada beban nominal serta suhu sekitar acuan serta peningkatan suhu kumparan. Persamaan ini juga hanya berlaku pada temperatur belitan  $80^{\circ}\text{C}$  -  $140^{\circ}\text{C}$ . Untuk desain transformator mengacu pada IEC 354, nilai relatif dari umur pemakaian transformator bergantung pada suhu titik panas. Pada transformator, kecepatan proses penuaan relatif itu secara pendekatan dapat dinyatakan dengan persamaan Mountsinger sebagai berikut:

$$V = 2. \frac{(\theta-98)^6}{\dots\dots\dots(2.7)}$$

Dimana:

<sup>4</sup> Latupeirissa, Hamles Leonardo. 2018. *Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 KV di PT. PLN Cabang Ambon*. Jurnal Politeknik Negeri Ambon, 8(2) : 126-132.





$V$  = Kecepatan penuaan relatif

$\theta$  = Temperatur belitan bagian terpanas (*hotspot*)

$98^{\circ}\text{C}$  = Temperatur umur desain yang ditetapkan (20 Tahun)

Dalam menghitung pengurangan umur transformator, maka diberikan persamaan agar dapat menentukan besarnya susut umur, sebagai berikut:

$$\text{Susut (24 jam)} = \frac{(t_1 \times V_1) + (t_2 \times V_2)}{E_t} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$t_1$  = waktu pembebanan trafo pada temp belitan  $\theta_1$

$t_2$  = waktu pembebanan trafo pada temp belitan  $\theta_2$

$V_1$  = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan  $\theta_1$

$V_2$  = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan  $\theta_2$

Lalu untuk menghitung sisa umur transformator, dapat menggunakan persamaan

$$\text{Sisa umur} = \frac{(\text{Umur Dasar}) - n}{(\text{Susut Umur 24 Jam} \times 100)} \times 100 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$n$  = Lama waktu trafo telah beroperasi (tahun)

## 2.10 Perhitungan Rata – Rata

Untuk menghitung rata rata dapat menggunakan persamaan:

$$X_{\text{rata - rata}} = \frac{\Sigma X}{n} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :



$X_{\text{rata-rata}}$  = Rata – Rata data

$\Sigma X$  = Jumlah antar data

n = Banyaknya Data