



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

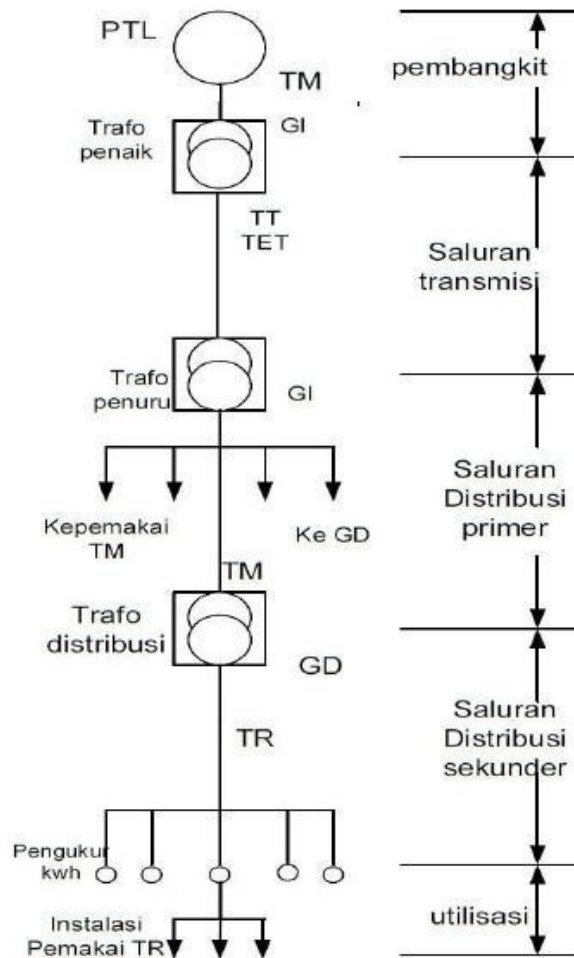
#### 2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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, 154 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>1</sup>

---

<sup>1</sup> Dasman and Handayani, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan Metode Saidi," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 6, no. 2, p. 173, 2017, [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/0a1c/0f36298394581d93136e7414f92c2ca6366d.pdf>



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

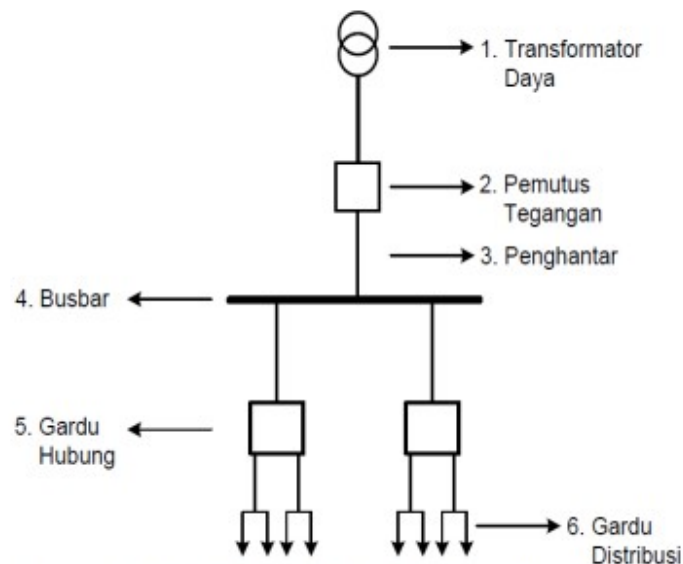
## 2.2. Jaringan Distribusi

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.

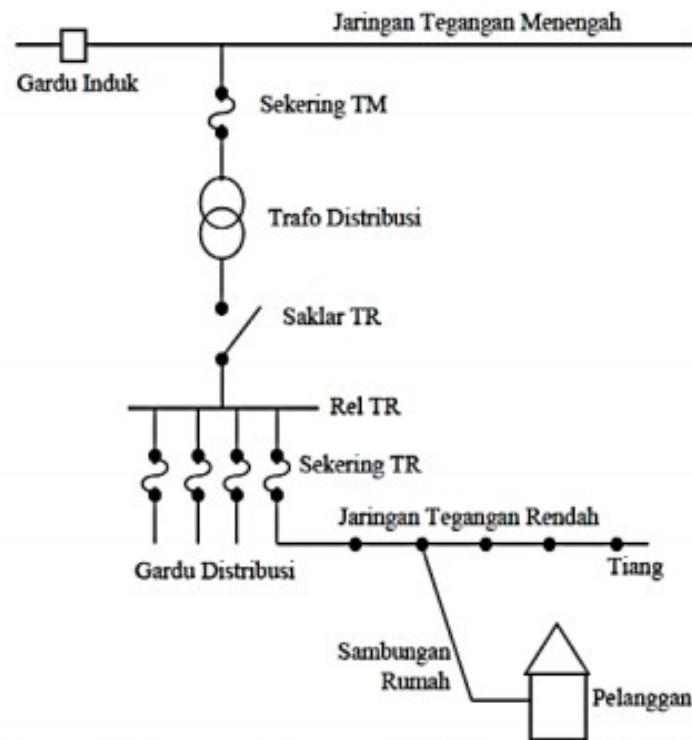


Gambar 2.2 Diagram Sistem Distribusi Primer

### 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 (fasa – netral) 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 subtransmisi.



Gambar 2.3 Diagram Distribusi Sekunder

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 Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah (SLTR). SLTR ialah penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan pada JTR sampai dengan alat pembatas dan pengukur (App).<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Dasman and Handayani, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan Metode Saidi," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 6, no. 2, p. 173, 2017, [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/0a1c/0f36298394581d93136e7414f92c2ca6366d.pdf>

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

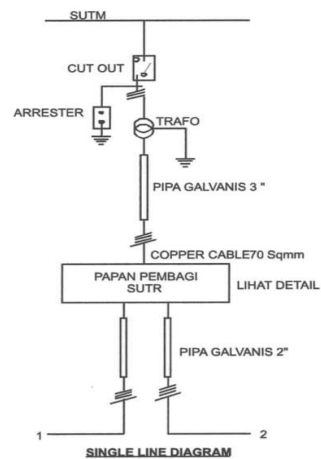
### 3. Jenis Penggunaannya:

- 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 Saluran udara Tegangan Menengah (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 surja petir.



Gambar 2.4 SLD Gardu Distribusi dan Gardu 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 selengkapnyanya 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 sistem, 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

pasangan 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.<sup>3</sup>



Gambar 2.8 PHB -TR

## 2.5. Transformator

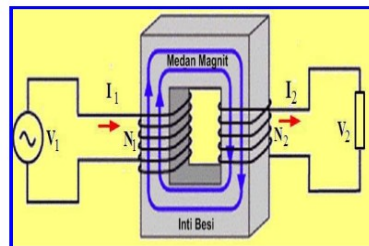
Transformator merupakan suatu alat listrik suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya atau dapat juga diartikan mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke 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,

---

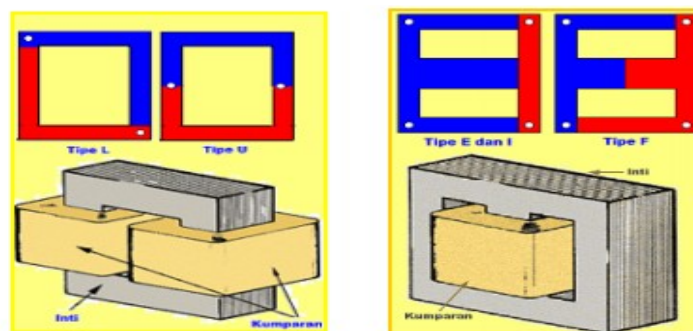
<sup>3</sup> F. Alubaidah, "Perancangan Saluran Distribusi Tegangan Rendah Untuk Penambahan Beban Baru Pada Gedung Di Jpte Ft Uny," pp. 5–6, 2019.

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”, 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 selesai dilakukan.<sup>4</sup>

## 2.6. Pembebanan transformator

Berdasarkan standar 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. Rumus berikut dapat digunakan untuk melihat besar kapasitas trafo yang ada.

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

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

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

$$\text{Persentase beban transformator} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \times 100 \% \quad (2.4)$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum I}{n} \quad (2.5)$$

Dimana:

$I_R$  = Arus Fasa R (A)

$I_S$  = Arus Fasa S (A)

$I_T$  = Arus Fasa T (A)

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

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

<sup>4</sup> J. M. Tambunan, A. Hariyanto, and W. K. Tindra, “Kerja Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur,” *Sutet*, vol. 5, no. 2, pp. 91–99, 2015.

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

$I_{rata-rata}$  = Rata – rata pemakaian beban (A)

$\Sigma I$  = Jumlah Pembebanan

$n$  = Banyaknya data

## 2.7. Susut Usia Transformator

Suatu bahan isolasi dapat mengalami penurunan kemampuan akibat panas disebut penuaan (*aging*). Akibat adanya pembebanan lebih dapat menghasilkan panas pada lilitan kumparan transformator sehingga dapat menurunkan usia dari Transformator dari yang diharapkan (Penyusutan umur).

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

Tabel 2.1 Pembebanan yang diijinkan pada temperatur sekitar yang berbeda

<i>Ambient Temperature</i> (°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 60076<sup>6</sup>

<sup>5</sup> K. Najdenkoski, G. Rafajlovski, and V. Dimcev, "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>6</sup> ICE31010, "International Standard International Standard," *61010-1* © Iec2019, vol. 2019, p. 268, 2019.

Berdasarkan 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 suhu sekitar (*ambient temperature*) 20 °C. Ketika transformator mengalami *temperature hotspot* yang lebih besar dari 98 °C, maka susut usianya akan semakin cepat (besar) sehingga bisa memperpendek usia 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.<sup>7</sup>

Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40 °C dan pada temperatur rata-rata harian 30 °C serta temperatur rata-rata tahunan 30 °C. Susut umur karena temperatur titik panas dapat dilihat pada tabel. Berbagai peneliti belum sepenuhnya sependapat mengenai susut umur transformator di temperatur tertentu. Tetapi mereka setuju bahwa selama rentang 80 °C – 140 °C laju penuaan transformator mengganda untuk setiap 6 °C kenaikan suhu dan nilai ini digunakan sebagai dasar penelitian.<sup>8</sup>

Tabel 2.2 Nilai Susut Umur akibat Kenaikan Suhu

$\theta$ (°C)	$\zeta$ (p.u)	Perkiraan Umur (tahun)
80	0,125	>20
86	0,25	>20
92	0,5	>20
98	1	20
104	2	10
110	4	5
116	8	2,5

<sup>7</sup> SPLN, “SPLN 17 - Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak.” p. 3, 1979.

<sup>8</sup> D. I. Pt, P. L. N. Persero, and K. Pontianak, “Studi Susut Umur Transformator”.

122	16	1,25
128	32	0,625
134	64	0,5125
140	128	0,15625

Sumber: Purnama Sigid, 2009

## 2.8. Temperatur Belitan

Dalam mengukur temperatur belitan, perlu juga untuk mengetahui rata - rata temperature harian yang ada. Dapat menggunakan rumus :

$$\theta_{\text{rata - rata}} = \frac{\Sigma\theta}{n} \quad (2.6)$$

$\theta_{\text{rata - rata}}$  = Rata Rata ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Sigma x$  = Jumlah Temperature

$n$  = Banyaknya data

Untuk menghitung temperature belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %, dapat menggunakan rumus:

$$\frac{x_1}{\theta_1} = \frac{100\%}{\theta_2} \quad (2.7)$$

Dimana:

$X_1$  = Faktor Pembenanan yang diijinkan pada temperature sekitar

$\theta_1$  = *Temperature Hotspot* pada kondisi normal ( $98^{\circ}\text{C}$ )

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

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

$$\theta = \frac{\% \text{Pembebanan} \times \theta_2}{100} \quad (2.8)$$

Dimana:

- $\theta$  = Temperature belitan bagian terpanas (*Hotspot*)  
 $\theta_2$  = Temperature belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %

## 2.9. Perkiraan Usia Transformator

Menurut Hamles Leonardo Latupeirissa (2018) menyatakan bahwa: Rumus Montsinger dapat digunakan untuk mendapatkan kecepatan relatif pada tiap titik panas diatas suhu normal ( $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) pada beban nominal serta suhu sekitar acuan serta peningkatan suhu kumparan. Untuk desain transformator mengacu pada standar IEC 76 dan 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 rumus Mountsinger sebagai berikut:<sup>9</sup>

$$\zeta = 2^{(\theta-98)/6} \quad (2.9)$$

Dimana:

- $\zeta$  = Kecepatan penuaan relatif  
 $\theta$  = Temperatur belitan bagian terpanas (*hotspot*)  
 $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  = Temperatur umur desain yang ditetapkan (20 Tahun)

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

$$\text{Susut (24 jam)} = \frac{(t_1 \times \zeta_1) + (t_2 \times \zeta_2)}{E t} \quad (2.10)$$

Dimana:

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

<sup>9</sup> H. L. Latupeirissa, "Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 KV," *J. Simetrik*, vol. 8, no. 2, pp. 139–144, 2018.



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

$\zeta_1$  = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan  $\theta_1$

$\zeta_2$  = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan  $\theta_2$

Lalu untuk menghitung perkiraan usia pakai transformator, dapat menggunakan rumus

$$\text{Perkiraan usia pakai} = \frac{(\text{Umur Dasar})}{(\% \text{Susut Umur 24 Jam} \times 100)} \times 100$$

(2.11)

$$\text{Perkiraan sisa usia pakai} = \frac{(\text{Umur Dasar}) - n}{(\% \text{Susut Umur 24 Jam} \times 100)} \times 100$$

(2.12)

Dimana :

$n$  = Lama waktu transformator beroperasi