

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

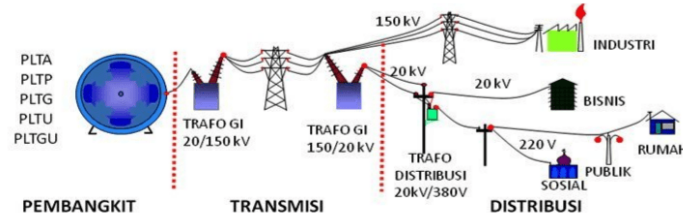
Beberapa penelitian yang relevan diantaranya :

- Penelitian yang dilakukan oleh Hamles Leonardo Latupeirissa (2018) membahas tentang Analisis Umur Pakai Transformator Distribusi 20 kV di PT PLN Cabang Ambon, dengan fokus pada transformator-transformator distribusi yang terpasang pada penyulang Karpan I. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa transformator dengan tingkat pembebanan di atas 80% dari kapasitas dayanya mengalami percepatan penurunan umur pakai.
- Penelitian yang dilakukan oleh Syamsir, Wahyudi BP, Husen Mubarak (2018) membahas tentang Analisis Peramalan Masa Pakai Transformator Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linear.
- Penelitian berjudul Analisis Perkiraan Umur Transformator Distribusi Terhadap Pembebanan di ULP Mattirotasi Dengan Metode Montsinger oleh Burhan, Ahmad Rizal Sultan, Alamsyah Achmad (2023).
- Penelitian yang dilakukan oleh Latuny, I., Latupeirissa, H. L., & Jamlaay, M. (2023) yang membahas tentang Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Pada Penyulang Laha
- Penelitian berjudul Analisis Susut Energi Listrik Pada Trafo Distribusi 160 kVA di Gardu Distribusi SP022 PLN ULP Sape Penyulang Sari Akibat Ketidakseimbangan Beban oleh Alfian Ediyasa Ulinnuha (2025).

Sebagai pengembangan dari penelitian tersebut, dalam skripsi ini dilakukan analisis susut energi dan susut umur transformator distribusi berdasarkan beban aktual dan proyeksi pertumbuhan beban tahunan. Objek penelitian difokuskan pada gardu distribusi MF019, MF084, dan MF149 yang berada pada penyulang Sasi, yang juga memiliki tingkat pembebanan di atas 80% dari kapasitas daya transformator.

2.2.Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi



Gambar 2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik[4]

Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk distribusi kepada konsumen dengan mutu pelayanan yang memadai. Salah satu unsur dari mutu pelayanan adalah kontinuitas pelayanan yang tergantung pada topologi dan konstruksi jaringan serta peralatan tegangan menengah. Masalah utama dalam menjalankan fungsi jaringan distribusi tersebut adalah mengatasi gangguan dengan cepat karena gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam jaringan distribusi tegangan menengah maupun tegangan rendah[5].

2.2.2. Gardu Distribusi

Pengertian Gardu Distribusi tegangan Listrik yang Paling di kenal adalah sebuah bangunan Gardu Listrik yang berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan tegangan menengah (TM 20 KV) maupun Tegangan rendah (TR 220/380 Volt) (MAKANGIRAS, 2016).



Bagian PHB-TR pada gardu distribusi



Bagian Transformator pada gardu distribusi

Gambar 2.2. Gardu Distribusi [6]

Konstruksi gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas:

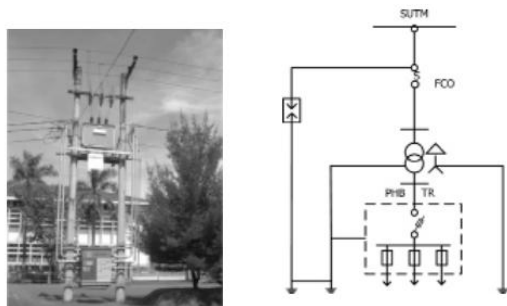
- a. Jenis pemasangannya:
 - 1. Gardu pasangan luar: gardu portal, gardu cantol
 - 2. Gardu pasangan dalam: gardu beton, gardu kios
- b. Jenis konstruksinya:
 - 1. Gardu beton (bangunan sipil: batu, beton)
 - 2. Gardu tiang: gardu portal dan gardu cantol
 - 3. Gardu kios
- c. Jenis penggunaannya:
 - 1. Gardu pelanggan umum
 - 2. Gardu pelanggan khusus

2.2.3. Jenis-Jenis Gardu Distribusi

Jenis-jenis gardu distribusi, diantaranya :

a. Gardu Portal

Umumnya konfigurasi gardu tiang memiliki peralatan pengaman *Fuse Cut Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan transformator akibat surja petir[7].



Gambar 2.3. Gardu Portal[7]

b. Gardu Cantol

Untuk gardu distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 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.



Gambar 2.4. Gardu Cantol[7]

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan *lightning arrester* dipasang terpisah dengan penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah di sisi masuk dan pengaman lebur (tipe NH, NT) sebagai pengaman jurusan[7].

c. Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/ proteksi, terangkai di dalam 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[7].



Gambar 2.5. Gardu Beton[7]

d. Gardu Kios

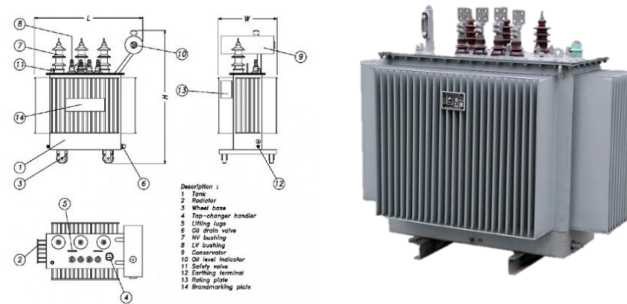
Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu kios kompak, kios modular, dan kios bertingkat. Gardu ini dibangun di tempat-tempat 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 diangkut ke lokasi dan disambungkan dengan sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya[7].



Gambar 2.6. Gardu Kios[7]

2.2.4. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain atau seperangkat peralatan statis yang berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik mentransformasikan tegangan arus bolak-balik diantara dua belitan atau lebih pada frekuensi sama besar dan biasanya pada nilai arus dan tegangan yang berbeda[8]. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator fase tiga *step down* 20 kV/400 V. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Transformator gardu pasangan luar dilengkapi *bushing* tegangan menengah isolator keramik[7].



Gambar 2.7. Transformator[9]

2.2.5. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah terdiri dari inti besi dan kumparan. Pada dua sisi inti besi tersebut dililit oleh kumparan yang terhubung pada dua buah terminal trafo yaitu terminal primer dan terminal sekunder. Sisi primer merupakan bagian trafo yang terhubung dengan masukan (*input*) sedangkan sisi sekunder merupakan bagian trafo yang terhubung dengan keluaran (*output*). Sesuai hukum Ampere, pada kumparan primer mengalir arus jika dihubungkan ke sumber listrik arus bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan feromagnetik akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet yang disebut fluks magnetik. Kemudian sebagian fluks magnetik sisi primer ini yang menginduksi kumparan di sisi sekunder, sehingga menurut hukum Faraday, fluks tersebut akan dapat menghasilkan tegangan induksi pada sisi sekunder[10].

2.2.6. Gangguan pada Transformator Distribusi

A. Gangguan Akibat Beban Lebih

Gangguan beban lebih dapat terjadi pada transformator distribusi karena beban yang terpasang pada transformator melebihi kapasitas maksimum yang mampu diterima oleh transformator. Pembebanan yang berlebihan dapat mengakibatkan kenaikan suhu pada lilitan transformator, sehingga mengakibatkan kenaikan suhu pada minyak transformator. Gangguan yang diakibatkan oleh beban lebih yang terjadi juga dapat menyebabkan kualitas isolasi transformator semakin buruk. Jika terus menerus terjadi akan

mempercepat penuaan transformator dan menyebabkan gagalnya isolasi transformator yang dapat mengakibatkan hubung singkat[11].

B. Gangguan Akibat Sambaran Petir

Gangguan transformator distribusi akibat sambaran petir ini dapat terjadi karena sambaran petir yang mengenai kawat fasa atau terkena sambaran langsung atau mengenai daerah sekitar kawat fasa pada jaringan distribusi, apabila tegangan lebih yang muncul akibat sambaran petir tidak dialihkan oleh *lightning arrester* ke tanah, maka tegangan lebih tersebut akan mencapai transformator. Jika tegangan lebih tersebut lebih besar dari BIL (*Basic Insulation Level*) isolasi trafo, maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi lilitan transformator dan mengakibatkan hubung singkat antar lilitan sehingga menyebabkan kerusakan pada kumparan transformator[11].

C. Gangguan Kegagalan Minyak Transformator

Kegagalan isolasi minyak transformator terjadi akibat penurunan kualitas minyak transformator sebagai isolasi dimana kekuatan dielektriknya menurun. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain minyak transformator sudah lama dipakai, atau terjadi pencemaran akibat munculnya zat-zat asing di dalam minyak. Zat-zat tersebut dapat berupa kotoran, partikel-partikel logam, air yang larut dalam minyak dan gas yang menyebabkan munculnya gelembung di dalam minyak. Minyak transformator berfungsi sebagai isolasi untuk memisahkan kumparan transformator dengan bagian-bagian transformator lainnya secara elektrik. Akibat dari menurunnya kekuatan dielektrik minyak transformator maka minyak transformator akan ditembus oleh arus listrik yang berasal dari kumparan transformator sehingga apabila arus tersebut mencapai transformator akan menimbulkan gangguan[11].

2.2.7. Optimalisasi Pembebanan Transformator

Merujuk pada Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 007.E/DIR/2009 tentang Metode Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, menetapkan acuan *load reading and profiling* terhadap persentase pembebanan transformator pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Matriks *Online Assessment Tier-1* pada Trafo Distribusi[3]

Charac. Group	Characteristic	Health Index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Visual Inspection	Kebocoran Minyak Trafo	Bersih	<i>Packing</i> retak	<i>Packing</i> retak /berminyak	Rembes/ Tetes
	Kondisi Fisik Trafo	Mulus	Cacat sirip minor	Cacat sirip major	Bengkak
	Pembumian Trafo	<1,7 Ω	1,7 Ω - <5 Ω	5 Ω - <10 Ω	$\geq 10 \Omega$
	Kesesuaian Ampere Fuse TR	Sesuai standar	Deviasi 1 tingkat di atas standar	Deviasi 2 tingkat di atas standar	Fuse TR tidak ada (<i>by pass</i>)
	Kondisi <i>Low Voltage Switch Board</i> (LVSb)	Boks bersih, instalasi rapi	Boks kotor, instalasi rapi	Boks karatan, instalasi rapi	Boks bocor, instalasi buruk
Load Reading and Prfofiling	Pembebanan Arus TR (% thp KHA Outlet)	<60%	60% - <80%	80% - <100%	$\geq 100\%$
	Ketidakseimbangan Arus antar Fasa	<10%	10% - <20%	20% - <25%	$\geq 25\%$
	Besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	<10%	10% - <15%	15% - <20%	$\geq 20\%$
	Pembebanan Trafo (% terhadap kapasitas)	<60%	60% - <80%	80% - <100%	$\geq 100\%$

Pada Tabel 2.1 diatas, menyatakan bahwa transformator mencapai kategori *health index* pembebanan yang baik apabila kapasitas pembebanannya kurang dari 60% dari kapasitas transformator, kemudian kategori cukup apabila kapasitas pembebanannya antara 60% sampai 80% dari kapasitas transformator, sedangkan kategori kurang baik apabila kapasitas pembebanannya antara 80% sampai 100% dari kapasitas transformator, serta kategori buruk apabila kapasitas pembebanannya lebih dari 100% dari kapasitas transformator.

2.2.8 Susut Energi Transformator

Perhitungan susut energi transformator dihitung dengan cara menghitung resistansi trafo dan rugi-rugi trafo

➤ Resistansi trafo

Resistansi trafo merupakan bagian dari impedansi yang menyebabkan rugi-rugi daya dalam bentuk panas akibat aliran arus listrik. Resistansi ini terdapat pada kumparan primer dan sekunder. Rumus dasar resistansi dalam hubungan dengan rugi-rugi tembaga:[12]

$$P_{cu} = I^2 R \quad (2.1)$$

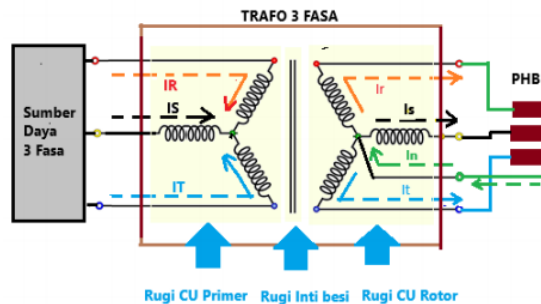
Keterangan:

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga (watt)

I = Arus Listrik (A)

R = Resistansi (ohm)

➤ Rugi-rugi Trafo



Gambar 2.8 Rugi-rugi Trafo

Rugi-rugi trafo adalah energi yang hilang selama proses transformasi energi listrik di dalam transformator. Energi ini tidak sepenuhnya dikonversi dari sisi primer ke sekunder, melainkan Sebagian hilang dalam bentuk panas atau energi magnetic. Berdasarkan parameter komponen, salah satu penyebab susut energi yang memiliki dampak yang cukup pengaruh adalah rugi-rugi kumparan pada transformator. Pada umumnya, untuk menghitung rugi-rugi kumparan dapat menggunakan rumus : [12]

$$P_{total} = P_{primer} + P_{inti} + P_{sekunder} \quad (2.2)$$

Dengan syarat nilai rugi-rugi (P) setiap bagian trafo diketahui melalui perhitungan : [12]

$$P_n = I^2 \times R_n \quad (2.3)$$

Keterangan:

P_n = Rugi-rugi (Watt)

I = Nilai Arus Terbebani (A)

R = Resistansi (ohm)

Rugi-rugi trafo dipengaruhi oleh arus-arus fasa yang mengalir pada masing-masing kumparan primer, arus rugi inti (arus beban nol) dan arus-arus fasa yang mengalir pada masing-masing kumparan sekunder. Rugi-rugi pada trafo sendiri ada dua jenis :

a) Rugi Tanpa Beban (No Load Loss)

Rugi tanpa beban adalah rugi-rugi yang terjadi saat transformator terhubung ke sumber tegangan tanpa ada beban terhubung di sisi sekunder. Rugi-rugi ini terutama terjadi di inti besi transformator dan bersifat konstan, tidak tergantung pada beban.

b) Rugi Terbebani (Full Load)

Rugi beban adalah rugi-rugi yang terjadi Ketika trafo mengalirkan arus karena adanya beban di sisi sekunder. Beban meningkat seiring dengan bertambahnya arus beban dan dihitung berdasarkan resistansi kumparan trafo.

➤ Susut Energi

Susut energi merupakan kerugian yang terjadi sebagai akibat adanya selisih antara energi yang dikirimkan dengan energi yang diterima atau dapat juga dikatakan dari sisi transfer energi sebagai adanya selisih antara energi yang disalurkan ke pelanggan dengan total

energi yang dibayarkan pelanggan. Susut energi dalam system distribusi dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

- a) Susut teknis : kerugian energi yang terjadi akibat sifat fisik peralatan, seperti rugi-rugi pada transformator, kabel penghantar, dan isolator
- b) Susut non-teknis : kehilangan daya yang disebabkan oleh factor eksternal, seperti pencurian listrik, koneksi ilegal, dan kesalahan pengukuran

Untuk rumus perhitungan susut energi akibat dari rugi-rugi trafo sebagai berikut : [12]

$$Energy\ loss\ cost = 24\ jam \times P_{rugi-rugi} \quad (2.4)$$

2.2.9 Metode Regresi Linier

Perhitungan perkiraan sisa umur transformator dihitung berdasarkan peramalan beban transformator menggunakan metode regresi linier. Regresi linier adalah hubungan yang didapat dan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematika yang menyatakan hubungan fungsional antar variabel-variabel. Regresi linier dianggap memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam menganalisa suatu faktor, karena antar variabelnya dapat ditentukan. Berikut persamaan regresi linier yang digunakan untuk peramalan beban transformator[13].

$$Y = a + bX \quad (2.5)$$

Keterangan:

Y = Data pembebanan

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

X = Periode pengambilan data

Untuk mencari nilai a dan b menggunakan persamaan berikut.

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2.6)$$

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2.7)$$

Keterangan:

ΣY = Jumlah persentase beban transformator

ΣX = Jumlah pengambilan data

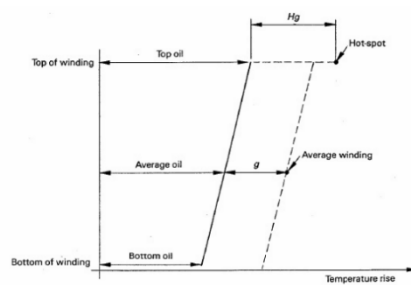
n = Banyaknya variable

2.2.10 Susut Umur Transformator

Pembebanan lebih pada transformator dapat menghasilkan peningkatan suhu pada kumparan transformator yang akan menyebabkan penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas, yang sering disebut sebagai proses penuaan (*aging*), sehingga mempengaruhi kinerja dan umur transformator[14]. Hal ini merupakan faktor utama yang membatasi kemampuan mempertahankan perkiraan umur dari transformator distribusi. Dengan kata lain, akibat adanya pembebanan lebih akan menimbulkan panas pada kumparan transformator sehingga pada suatu saat akan menurunkan umur transformator (penyusutan umur) dari yang diharapkan[2].

Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka temperatur air tidak boleh lebih dari 25 °C, sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka temperatur udaranya tidak boleh lebih dari 40 °C dan tidak boleh di bawah -25 °C untuk pemasangan luar dan tidak boleh di bawah -5 °C untuk pemasangan dalam[15].

Kenaikan temperatur dapat diasumsikan dengan diagram *thermal* sederhana seperti ditunjukkan gambar 2.7. Kenaikan temperatur minyak bagian atas yang diukur selama pengujian kenaikan temperatur, berbeda dengan minyak yang meninggalkan kumparan. Minyak pada bagian atas adalah campuran sebagian dari minyak yang bersirkulasi sepanjang kumparan. Tetapi perbedaan ini tidak dipertimbangkan dengan cukup signifikan untuk mevalidasi metode[2].



Gambar 2.9. Diagram *Thermal Transformatior*[16]

Metode ini disederhanakan sebagai asumsi yang telah dibuat sebagai berikut:

- Temperatur minyak di dalam kumparan bertambah secara linier dari bawah ke atas.
- Kenaikan temperatur rata-rata dari tembaga pada setiap posisi di atas kumparan meningkat secara linier sejalan dengan kenaikan temperatur minyak yang mempunyai selisih konstan g antara dua garis lurus (g adalah selisih antara kenaikan temperatur rata-rata tahanan dan kenaikan temperatur rata-rata minyak).
- Kenaikan temperatur *hot spot* adalah lebih tinggi dibanding kenaikan temperatur rata-rata puncak kumparan[2].

Penurunan kemampuan isolasi akan semakin cepat apabila isolasi tersebut bekerja dengan temperatur yang melebihi dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah temperatur *hot spot*). Menurut standar IEC 354 yang juga telah menjadi SPLN saat ini (SPLN 17:1979), sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi temperatur *hot spot* $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada pembebanan yang terus-menerus dengan temperatur sekitar (*ambient temperature*) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Apabila transformator tersebut mengalami temperatur *hot spot* yang lebih besar dari $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, susut umurnya akan semakin cepat (besar), sehingga dapat memperpendek umur dari yang diharapkan. Standar IEC 354 memberikan faktor beban terus menerus yang akan menghasilkan temperatur *hot spot* $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari berbagai temperatur lingkungan dan untuk

setiap jenis pendingin, sehingga memungkinkan untuk menghitung kemampuan pembebanan terus menerus berdasarkan temperatur sekitar[2]. Untuk transformator yang dirancang sesuai dengan IEC 76, laju penuaan termal relatif dianggap sama dengan satu untuk suhu titik panas 98 °C, yang sesuai dengan operasi pada suhu sekitar 20 °C dan titik panas kenaikan suhu sebesar 78 K[16].

Jika arus beban selama periode waktu tertentu tidak menunjukkan variasi yang nyata, arus beban ekivalen konstan dapat digunakan. Tabel 2.2 memberikan faktor beban yang dapat diterima untuk tugas kontinu pada suhu lingkungan berbeda[16].

Tabel 2.2. Faktor Beban yang Dapat Diterima Berdasarkan Suhu Sekitar[16]

<i>Ambient temperature (°C)</i>			-25	-20	-10	0	10	20	30	40
<i>Hot-spot temperature rise (K)</i>			123	118	108	98	88	78	68	58
K ₂₄	<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	1,26	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

Susut umur transformator diketahui dengan menghitung temperatur *hot spot* berdasarkan persentase pembebanan pada WBP dan LWBP, serta mencari nilai laju penuaan relatif seperti persamaan berikut. [13]

$$\theta h = \text{presentase pembebanan} \times \theta h \text{ } 100\% \quad (2.8)$$

$$\text{Nilai laju penuaan relatif (V)} = 2^{(\theta h - 98 \text{ } ^\circ\text{C})/6} \quad (2.9)$$

Keterangan:

V = Laju penuaan relatif (p.u)

θh = Temperatur belitan bagian terpanas atau *hot spot* (°C)

98 °C = Temperatur *hot spot* sebagai dasar desain umur normal

Dalam menghitung pengurangan umur diberikan persamaan untuk dapat menentukan besarnya susut umur transformator sebagai berikut. [2]

$$\text{Susut umur (24 jam)} = (t_1 \times V_1) + (t_2 \times V_2) \quad (2.10)$$

Keterangan:

t_1 = Waktu pembebanan trafo pada V_1 (jam)

t_2 = Waktu pembebanan trafo pada V_2 (jam)

V_1 = Laju penuaan relatif pada WBP (p.u)

V_2 = Laju penuaan relatif pada LWBP (p.u)

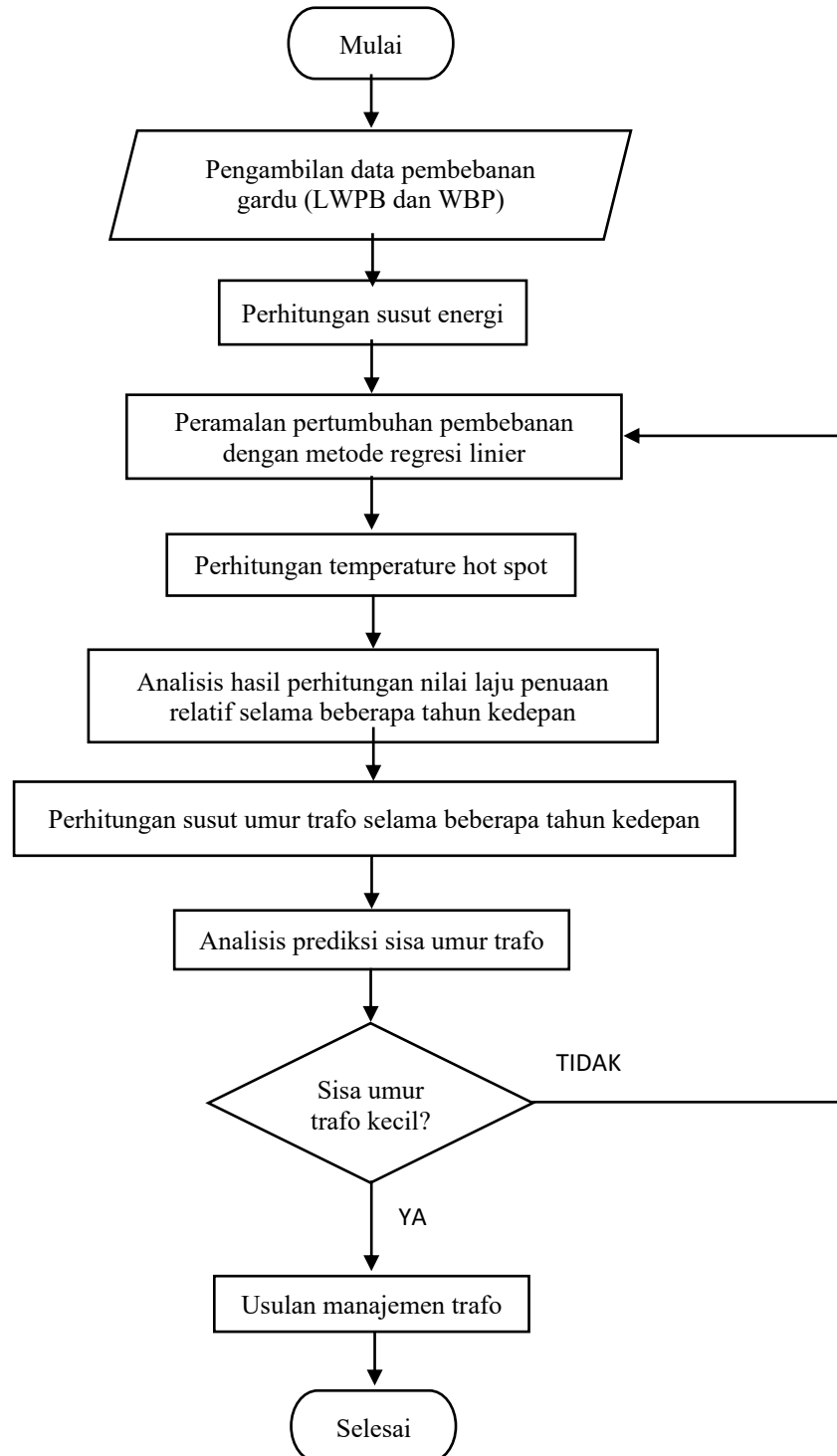
Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dengan pendingin udara dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40 °C dan pada temperatur rata-rata harian 30 °C serta temperatur rata-rata tahunan 20 °C[15]. *International Electrotechnical Commission* (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari apabila dibebani 100% dari nilai kapasitas transformator pada temperatur sekitar 20 °C.

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 temperatur dan nilai ini digunakan sebagai dasar penelitian[2].

Tabel 2.3. Laju Penuaan Relatif akibat Temperatur *Hot Spot*[16]

θ_h	Relative ageing rate
80	0,125
86	0,25
92	0,5
98	1,0
104	2,0
110	4,0
116	8,0
122	16,0
128	32,0
134	64,0
140	128,0

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.10. Kerangka Pemikiran