

BAB II TEORI DASAR

2.1 Transformator

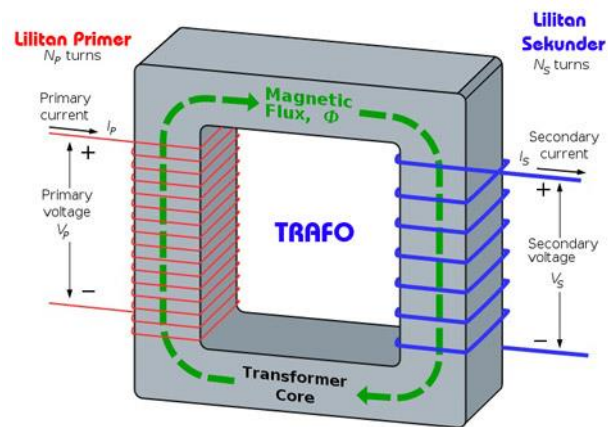
Transformator adalah peralatan listrik statis yang dapat memindahkan dan mengubah besaran daya listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [16]. Transformator dapat menaikkan dan menurunkan tegangan dari suatu rangkaian listrik. Transformator pada dasarnya terbentuk dari dua kumparan induktif yang terpisah satu sama lain secara elektris tetapi terhubung secara magnetik melalui suatu rangkaian magnetik berupa aliran fluks pada inti besi yang memiliki reluktansi rendah [17]. Bentuk transformator seperti pada Gambar 2.1 [18].



Gambar 2. 1 Transformator

2.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip transformator didasarkan pada hukum induksi elektromagnetik pada dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Saat kumparan primer terhubung dengan sumber tegangan bolak-balik (AC), maka akan timbul fluks magnetik dan mengalir melalui inti besi [19]. Prinsip kerja transformator ditunjukkan seperti Gambar 2.2 [20].



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Transformator

2.3 Jenis-Jenis Tranformator

Transformator mempunyai beberapa jenis yang berbeda dalam sistem kelistrikan dengan fungsi yang berbeda-beda. Adapun jenis-jenis transformator berdasarkan level tegangannya yaitu [19]:

1. Transformator *step down*

Transformator *step down* adalah jenis transformator yang dirancang untuk menurunkan tegangan listrik dari level yang lebih tinggi ke level yang lebih rendah. Transformator *step-down* memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer sehingga dapat menurunkan tegangan.

2. Transformator *step-up*

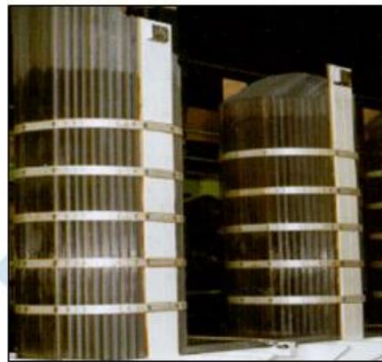
Transformator *step-up* adalah jenis transformator yang dirancang untuk meningkatkan tegangan listrik dari level yang lebih rendah ke level yang lebih tinggi. Transformator *step-up* memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer sehingga dapat menaikkan tegangan.

2.4 Bagian-Bagian Transformator

Transformator terdiri dari beberapa bagian komponen utama untuk mendukung keandalannya. Ada beberapa bagian pada transformator sebagai berikut:

2.4.1 Inti Besi

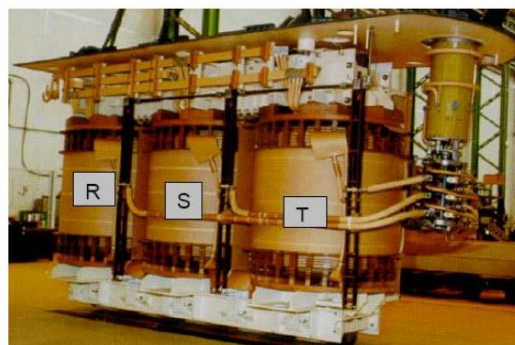
Inti besi dapat digunakan sebagai media magnetik yang timbul akibat induksi fluks yang timbul akibat arus bolak-balik pada kumparan yang mengelilingi induktor besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Inti besi dibuat dari lempengan-lempengan feromagnetik tipis untuk mempermudah fluks yang timbul oleh arus listrik melalui kumparan. Inti besi diberi isolasi mengurangi panas atau rugi-rugi besi yang timbul oleh arus Eddy [19]. Bentuk inti besi transformator ditunjukkan pada Gambar 2.3 [21].



Gambar 2. 3 Inti Besi Transformator

2.4.2 Kumparan

Kumparan transformator terdiri dari beberapa lilitan tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi untuk mengisolasi terhadap inti besi atau belitan lain. Banyaknya lilitan pada kumparan akan menentukan besarnya arus dan tegangan pada kumparan sekunder [19]. Bentuk kumparan transformator ditunjukkan pada Gambar 2.4 [21].



Gambar 2. 4 Kumparan Transformator

2.4.3 Bushing

Bushing merupakan sebuah konduktor (porselin) yang menghubungkan transformator dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor buhsing dengan tangki transformator. Selain itu, *bushing* juga berfungsi sebagai pengaman hubung singkat antara kawat bertegangan dengan tangki transformator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan bodi *main tank* transformator [19]. Bentuk *bushing* pada transformator ditunjukkan pada Gambar 2.5 [21].



Gambar 2. 5 *Bushing*

2.4.4 Pendingin

Transformator yang sedang beroperasi mempunyai suhu yang tinggi, suhu pada transformator dipengaruhi oleh rugi-rugi, kualitas tegangan jaringan, dan suhu lingkungan. Sistem pendingin ini mempunyai peran yang sangat penting karena apabila suhu transformator dalam nilai yang tinggi maka akan menyebabkan kerusakan pada bahan isolasi. Minyak isolasi transformator tidak hanya berperan sebagai media isolasi, tetapi juga berfungsi sebagai pendingin. Saat minyak mengalir, panas yang dihasilkan oleh belitan transformator akan dibawa oleh minyak sesuai dengan jalur sirkulasinya, dan kemudian didinginkan melalui sirip-sirip radiator. Proses pendinginan ini dapat ditingkatkan efisiensinya dengan bantuan kipas dan pompa sirkulasi untuk mempercepat aliran minyak dan meningkatkan efisiensi pendinginan [21]. Macam-macam pendingin pada transformator ditunjukkan pada Tabel 2.1 [21].

Tabel 2. 1 Macam-Macam Pendingin Transformator

No	Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Trafo		Diluar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN			Udara	
2	AF				Udara
3	ONAN	Minyak		Udara	
4	ONAF	Minyak			Udara
5	OFAN		Minyak	Udara	
6	OFAF		Minyak		Udara
7	OFWF		Minyak		Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Keterangan:

A : *Air*
 O : *Oil*
 N : *Natural*
 F : *Force*
 W : *Water*



2.4.5 Minyak Transformator

Minyak transformator memainkan peran penting dalam menjalankan fungsi isolasi dan sebagai pendingin untuk mengatasi panas akibat rugi daya pada transformator. Minyak tersebut memiliki peran ganda, yakni berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Minyak transformator tidak hanya bertindak sebagai isolator, tetapi juga berperan sebagai pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi untuk transformator umumnya terdiri dari tiga jenis utama yaitu parafinik, naphtenic, dan aromatik. Pencampuran ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak disarankan karena memiliki perbedaan sifat fisik maupun kimia [19]. Bentuk minyak transformator ditujukan seperti Gambar 2.6 [21].



Gambar 2. 6 Minyak Transformator

2.5 Pembebanan dan Suhu pada Transformator

Pembebanan pada transformator merupakan proses pemberian beban listrik pada transformator. Pembebanan ini harus sesuai dengan kapasitas transformator untuk menjaga kinerjanya. Jika pembebanan pada transformator hampir mendekati atau melebihi rating daya maksimalnya maka transformator tersebut akan mengalami *over heating* yang berpengaruh pada berkurangnya umur pemakaian transformator. Pembebanan pada transformator mengakibatkan meningkatnya temperatur belitan sehingga berdampak pada naiknya suhu minyak [5].

Suhu transformator dipengaruhi oleh besarnya pembebanan, suhu lingkungan dan sistem pendingin yang digunakan. Suhu yang tinggi menyebabkan rusaknya isolasi kertas pada transformator, pembebanan yang besar akan menimbulkan panas pada area belitan atau suhu *hotspot* dan kenaikan suhu *hotspot* akan menyebabkan kenaikan suhu isolasi cair (minyak) pada inti transformator. Jika suhu minyak transformator terus meningkat maka akan terjadi penurunan kualitas isolasi, sehingga berdampak pada kerusakan pada transformator yang mengakibatkan menurunnya kualitas pada transformator [5]. Sehingga, suhu minyak transformator harus dijaga dalam batas normal untuk mencegah terjadinya penurunan kualitas bagian-bagian transformator dan memperpanjang umur pakainya [16]. Dalam SPLN no 17 tahun 1979 menyatakan bahwa jika transformator mencapai temperatur *hot spot* yang melebihi 98°C maka susut umur transformator akan semakin besar, sehingga usia operasionalnya akan lebih pendek dari yang

diharapkan. Besarnya susut umur transformator karena temperature hotspot tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Susut umur karena kenaikan temperatur *hotspot*.

Q (°C)	Susut Umur (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
122	16	1.25
128	32	0.625
134	64	0.5125
140	128	0.15625

2.6 Perhitungan Sisa Umur Transformator

Dalam menjaga kualitas sistem tenaga listrik, kualitas daya menjadi hal yang penting. Untuk menjaga kualitas tersebut perlu memperhatikan besar pembebanan dan sisa umur pada transformator. Sisa umur transformator bergantung pada besarnya beban yang diberikan pada transformator. Untuk menghitung sisa umur transformator setiap tahunnya, terlebih dahulu menentukan rata-rata beban (MVA) dalam satu tahun dengan persamaan 2.1.

$$MVA = \frac{\text{rata-rata beban 1 tahun}}{\cos\phi} \quad (2.1)$$

dengan,

$\cos\phi$ = Faktor Daya

Perhitungan rasio pembebanan transformator diperoleh menggunakan persamaan 2.2

$$K = \frac{S}{Sr} \quad (2.2)$$

Dengan,

K = Rasio pembebanan

S = Pembebanan (%)

Sr = Beban puncak (%)

Besar persentase pembebanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$Pembekanan = \frac{Daya\ Terpakai}{Daya\ Maksimal} \times 100\% \quad (2.3)$$

Perhitungan untuk menentukan kenaikan *temperature hotspot* untuk ONAN dan ONAF dapat dilakukan dengan persamaan 2.4

$$\Delta\theta_{hr} = \Delta\theta_{or} + 1.3 \Delta\theta_{wo} \quad (2.4)$$

Dengan,

$\Delta\theta_{hr}$ = Kenaikan *temperature hotspot*

$\Delta\theta_{or}$ = Kenaikan *temperature top oil*

Kenaikan rata-rata kumparan = 63°C

Kenaikan temperatur rata-rata minyak = 43°C

Selisis kenaikan temperatur rata – rata kumparan dengan kenaikan rata – rata temperatur minyak $\Delta\theta_{wo} = 20^\circ\text{C}$

Perhitungan untuk mencari nilai kenaikan *temperature top oil* pada transformator menggunakan persamaan 2.5 berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{or} \left(\frac{1+dK^2}{1+d} \right)^x \quad (2.5)$$

Dengan,

d = rasio rugi-rugi

K = Rasio Pembebanan

x = kontanta untuk ON (0.8)

Untuk mengetahui selisih nilai antara kenaikan *temperature hotspot* dengan kenaikan *temperature top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6.

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{hr} - \Delta\theta_{or})K^{2y} \quad (2.6)$$

Dengan,

y = eksponen belitan (1.3)

Dalam SPLN 17a tahun 1979 menetapkan besar *temperature hotspot* jika dilakukan pembebanan secara maksimal yaitu 98. Untuk mengetahui *temperature hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.7.

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td} \quad (2.7)$$

Dengan

θ_h = *temperature hotspot*

θ_a = *temperature lingkungan*

$\Delta\theta_{td}$ = Selisih antara kenaikan *temperature hotspot dan top oil*

Selanjutnya, untuk menghitung Laju penuaan *thermal* relatif (V) pada transformator ditentukan pada persamaan 2.6 [22].

$$V = 10^{(\theta_h - 98)/19.93} \quad (2.8)$$

dengan,

V = Laju penuaan relatif

θ_h = Temperatur *hotspot*

Pengaruh penurunan kualitas isolasi karena laju penuaan dapat berpengaruh pada pengurangan umur atau susut umur pada transformator, untuk menentukan susut umur transformator dapat ditentukan pada persamaan 2.7 [22].

$$L = \frac{1}{N} \sum_n^N x V \quad (2.9)$$

dengan,

L = Susut Umur (dalam satuan p.u atau per unit)

n = Jumlah dari tiap interval waktu

N = Jumlah total interval waktu ekivalen

Setelah mendapat nilai susut umur, dilakukan perhitungan sisa umur transformator dengan umur dasar transformator adalah 30 tahun [6], ditunjukkan pada persamaan 2.10.

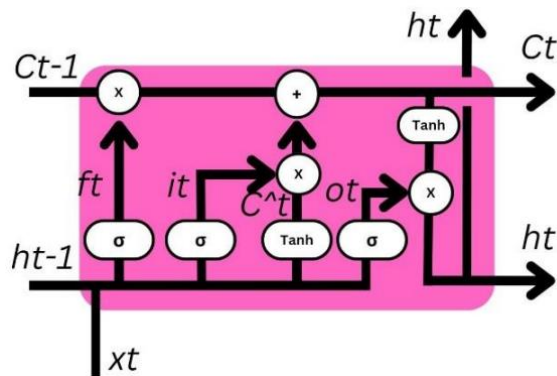
$$\text{Sisa umur} = \frac{8760 - (Lx365)}{8760} x (30 - \text{tahun operasi}) \quad (2.10)$$

dengan, 8760 adalah konversi satuan jam per tahun.

2.7 LSTM

Long Short-Term Memory (LSTM) adalah sebuah algoritma jaringan syaraf tiruan yang merupakan modifikasi dari *Recurrent Neural Network* (RNN). Pada

algoritma ini, RNN dimodifikasi dengan penambahan sel memori yang memiliki kemampuan untuk menyimpan informasi dalam jangka waktu yang lama [18]. LSTM sangat sesuai untuk digunakan pada data berurutan (*sequence data*). Kemampuan LSTM mencakup prediksi, klasifikasi, dan penghasilan data berurutan. Data berurutan sendiri mencakup nilai atau kejadian yang terjadi secara berurutan, contohnya adalah data historis saham yang termasuk dalam kategori data *time series* [18]. Dalam LSTM terdapat 3 *gate* yaitu *forget gate*, *input gate* dan *output gate*. *Input Gate* merupakan gerbang pertama yang dioperasikan dalam sel LSTM. Gerbang ini menerima 2 *input* yaitu h_{t-1} dan x_t , h_{t-1} merupakan keluaran pada proses LSTM pada waktu sebelumnya dan x_t merupakan *input* pada waktu saat ini. Jaringan LSTM ditunjukkan seperti Gambar 2.2 [16].



Gambar 2. 7 Arsitektur LSTM

Berikut menunjukan persamaan matematis metode konvensional untuk LSTM:

$$f_t = \sigma(w_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2.11)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_t = 1, x_t] + b_i) \quad (2.12)$$

$$c^t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (2.13)$$

$$c_t = f_i \cdot c_{t-1} + i_t \cdot c_t^{\sim} \quad (2.14)$$

$$O_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (2.15)$$

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t) \quad (2.16)$$

Keterangan:

f_t = Forget gate

σ = Fungsi sigmoid

w_f = Nilai *weight* untuk *forget gate*
 h_{t-1} = Nilai *output* sebelum orde ke t
 x_t = Nilai *input* pada orde ke t
 b_f = Nilai bias pada *forget gate*
 i_t = *Inputgate*
 W_i = Nilai *weight* untuk *input gate*
 b_i = Nilai bias pada *input*
 c^t = Nilai baru yang dapat ditambahkan ke *cell state*
 b_c = Nilai bias pada *cell state*
 O_t = *Output gate*
 W_o = Nilai *weight* untuk *output gate*
 b_o = Nilai bias pada *output gate*
 h_t = Nilai *output* orde ke t
 $tahn$ = Fungsi tahn
 C_t = *Cell state*

2.8 Akurasi Prediksi

Akurasi adalah sebuah metrik yang digunakan untuk mengukur sejauh mana model atau prediksi mendekati nilai sebenarnya, metrik yang digunakan yaitu MSE (*Mean Squared Error*). *Mean Squared Error* (MSE) merupakan rata-rata selisih antara nilai asli dan nilai prediksi, yang hasil akhirnya mencerminkan sejauh mana model mendekati nilai asli. Kualitas prediksi dianggap semakin baik jika nilai MSE yang dihasilkan semakin kecil atau mendekati nol [5].

$$MSE = \frac{1}{k} + \sum_{k=1}^k (y_k - \hat{y}^k)^2 \quad (2.17)$$