

# **PERHITUNGAN *LIFETIME* TRANSFORMATOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG WNI 3 WONOGIRI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**ANGGARA NUGRAHA**

**D 400 140 001**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PERHITUNGAN *LIFETIME* TRANSFORMATOR PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG WNI 3 WONOGIRI**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**ANGGARA NUGRAHA**  
**D 400 140 001**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Ir. Jatmiko, MT**  
**NIK.622**

HALAMAN PENGESAHAN

PERHITUNGAN *LIFETIME* TRANSFORMATOR PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG WNI 3 WONOGIRI

OLEH  
ANGGARA NUGRAHA  
D 400 140 001

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik.....  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari: Jumat, 13 Juli, 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

Ir. Jatmiko, MT

(.....)

(Ketua Dewan Penguji)

Hasyim Asy'ari, S.T., M.T

(.....)

(Anggota I Dewan Penguji)

Tindyo Prasetyo, S.T

(.....)

(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph. D  
NIK. 682

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 13 Juli 2018

Penulis



**ANGGARA NUGRAHA**

**D 400 140 001**

# PERHITUNGAN *LIFETIME* TRANSFORMATOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG WNI 3 WONOGIRI

## Abstrak

Jaringan distribusi sangat penting fungsinya untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit hingga ke konsumen. Jaringan distribusi yang terkoordinasi dengan baik sangat diperlukan agar distribusi energi listrik tidak terjadi gangguan. Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sebuah jaringan distribusi yang fungsinya tentu untuk mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke ke beban, agar Transformator tersebut dapat bekerja dengan baik tanpa adanya kerusakan maka pemilihan dari transformator yang akan digunakan harus tepat, pemilihan Transformator didalam jaringan distribusi disesuaikan dengan besarnya beban (kVA), dan harus melakukan perawatan secara berkala. Dalam perhitungan waktu pakai suatu Transformator kita dapat memprediksikan waktu pakai dari Transformator dari perhitungan tegangan dan arus yang digunakan setiap harinya, dengan mengetahui waktu pakai Transformator kita dapat mencegah terjadinya kerusakan dengan mengganti transformator sebelum Transformator tersebut mengalami kerusakan. Dalam perhitungan penurunan *lifetime* Transformator yang dilakukan pada Transformator jaringan distribusi dengan merk Starlite didapatkan nilai error sebesar 33,1% dari standarisasi PLN yaitu sebesar 80%, maka waktu pakai Transformator berkurang 6 tahun 8 bulan dari asumsi pemakaian Transformator 20 tahun, maka waktu sisa pemakaian Transformator menjadi 13 tahun 4 bulan, sedangkan pada Transformator merk Unindo dalam perhitungan penurunan *lifetime* didapatkan nilai error sebesar 30,53% dari standarisasi PLN yaitu sebesar 80%, maka waktu pakai Transformator berkurang 6 tahun 4 bulan dari asumsi pemakaian Transformator 20 tahun, maka waktu sisa pemakaian Transformator menjadi 13 tahun 8 bulan.

Kata-kata kunci : Transformator, Umur Transformator, Beban (kVA), Tegangan, Arus.

## Abstract

The distribution network is very important function to distribute electrical energy from the power plant to the consumer. Reliable distribution network is necessary for the distribution of electrical energy without any disturbance. The Transformer is a very important component in the distribution network to distribute electricity from the substation to to load, so that the Transformer can work without any damage to the selection of the Transformer to be used must be appropriate, election of Transformers in the distribution network tailored to the large load (kVA), and must perform regular maintenance. In the calculation of a Transformer lifetime we can predict the lifetime of the Transformer from the calculation of voltages and currents that are used every day, knowing the Transformer lifetime we can prevent damage to the Transformer before replacing the damaged Transformer. In calculating the Transformer lifetime reduction performed on the distribution network Transformers with the brand Starlite obtained amounting to 33,1% error value of PLN standardization that is equal to 80%, then the Transformer reduced wear time 6 years 8 months of assuming the use of Transformer 20 years, the time remaining for Transformer to 13 years and 4 months, while the Transformer brands Unindo natural lifetime value obtained calculation error reduction by 30,53% from PLN standardization that is equal to

80%, then the Transformer reduced wear time of 6 years 4 months of assuming the use of Transformer 20 years, the time remaining for Transformers to 13 years and 8 months.

Keywords: Transformer, Lifetime Transformer, Load (kVA), Voltage, Current.

## 1. PENDAHULUAN

Jaringan distribusi memiliki peran yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk menuju konsumen. Dalam penyaluran sistem tenaga listrik keandalan dan kestabilan sistem jaringan distribusi sangatlah penting agar memberikan kenyamanan dan kepuasan kepada pelanggan. Oleh karena peranannya yang sangat penting, dalam penyaluran tenaga listrik tidak boleh terputus selama 24 jam. Hal ini dapat terpenuhi apabila kondisi dari peralatan-peralatan tenaga listrik bekerja dalam kondisi baik, salah satu peralatan yang terpenting dalam sistem jaringan distribusi adalah Transformator.

Transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah agar sesuai rating yang diperlukan pada peralatan listrik konsumen. Transformator sendiri merupakan peralatan listrik yang mahal serta memiliki fungsi yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik, maka dari itu perawatan serta pengawasan terhadap Transformator jaringan distribusi sangat penting guna mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan kerugian kepada konsumen dan juga PLN.

Gangguan pada Transformator distribusi memiliki dampak besar terhadap pasokan listrik ke konsumen. Maka dari itu perawatan pada Transformator sangatlah perlu diperhatikan, terutama pada penentuan umur masa pakai Transformator. Transformator distribusi sendiri rata-rata dirancang untuk 20 tahun, namun karena adanya gangguan baik pada Transformator itu sendiri maupun dari faktor luar rata-rata umur Transformator berada pada kisaran 8-16 tahun dengan usia rata-rata sekitar 12,5 tahun (International Conference on High Voltage Engineering and Power System, 2017).

Transformator tenaga 1 Gardu Induk Wonogiri terhubung dengan 3 penyulang yaitu WNI 3, WNI 6 dan WNI 8. Adanya gangguan-gangguan yang sering terjadi pada penyulang seperti misalnya akibat oleh ranting pohon, isolator bocor, kabel putus, layang-layang maupun petir dapat berdampak pada berkurangnya umur Transformator distribusi (Arnol Sinaga, 2015).

Perhitungan berkurangnya umur Transformator pada jaringan distribusi 20 kV diharapkan dapat memprediksi umur Transformator yang selanjutnya penelitian ini diharapkan dapat mengetahui waktu pakai suatu Transformator guna mencegah gangguan pada jaringan distribusi dengan mengganti Transformator sebelum Transformator tersebut mengalami kerusakan.

## 2. METODE

Menggunakan metode pencarian data yang diperoleh dari suatu instansi dalam bentuk data lengkap. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan beberapa referensi dalam bentuk jurnal yang memiliki kaitan dengan judul tugas akhir, selanjutnya melakukan pengambilan data di APJ surakarta. Data yang didapat meliputi arus nominal, arus beban, tegangan input, tegangan output dan daya beban yang kemudian dengan menggunakan pendekatan nilai error pembebanan trafo maka akan didapatkan presentase berkurangnya umur trafo.

### 2.1 Rencana Penelitian

Rencana penelitian akan dilaksanakan penulis menggunakan beberapa metode sebagai berikut:

#### 1) Study Literatur

Penulis mengambil beberapa referensi melalui jurnal ilmiah dan beberapa buku untuk pedoman penulisan dalam menganalisa.

#### 2) Pengambilan data

Pengambilan dari data-data sendiri dilakukan di PT PLN (Persero) APJ Surakarta yang kemudian dijadikan sebagai bahan dalam penulisan tugas akhir.

#### 3) Mengalisa data

Data sudah terkumpul kemudian diperhitungkan dan menganalisa agar dipastikan dapat digunakan untuk mengetahui berkurangnya umur transformator.

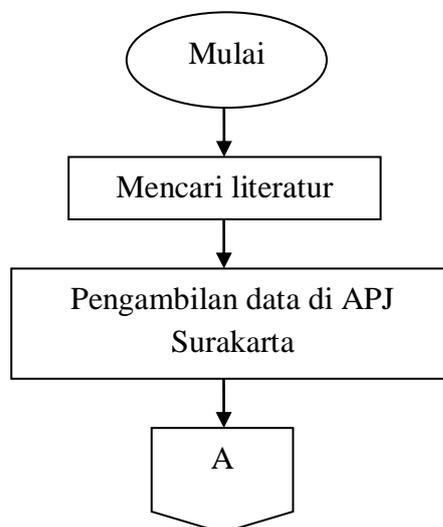
#### 4) Pencarian nilai

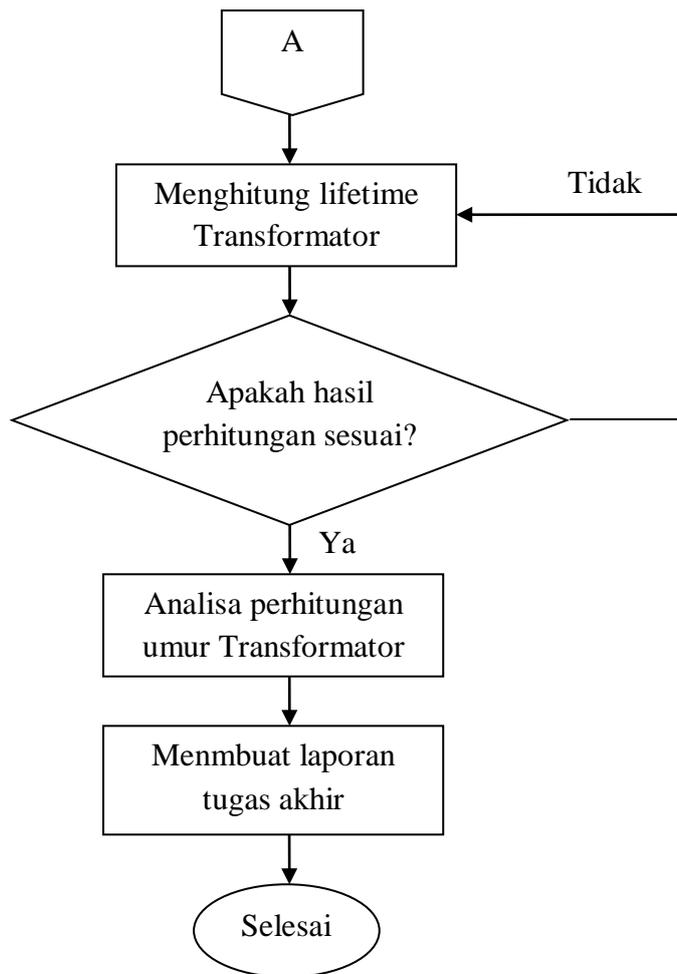
Mencari nilai hasil berkurangnya lifetime transformator pada tiap-tiap penyulang.

#### 5) Penyusunan laporan

Pembuatan laporan yang telah dianalisa sebelumnya sebagai hasil penelitian.

### 2.2 Diagram Alir Penelitian





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Penentuan Perhitungan Umur Transformator

Penentuan umur suatu Transformator dapat dianalisa dengan menggunakan pendekatan nilai error pembebanan trafo. Perhitungan nilai daya nominal menggunakan persamaan berikut dengan  $\cos \theta$  adalah fakto daya PLN ( $\cos \theta = 0,85$ )

$$P_{nominal} = I_{beban} \times V_{out} \times \cos \theta \quad (1)$$

Nilai error dapat dihitung dengan persamaan berikut dengan asumsi bahwa nilai ketetapan batasan pemakaian trafo (P) sebesar 80%. Nilai P\* adalah nilai jumlah persentase dari arus, tegangan dan daya.

$$E = \left( \frac{p - p^*}{p} \right) \quad (2)$$

#### 3.2 Perhitungan Umur Transformator

##### Perhitungan pada Transformator merk Starlite 20 kV

Tabel 1. Data pengukuran transformator merk Starlite 20 kV pada Jam 10:00

<b>Hari</b>	<b>I Nominal (A)</b>	<b>I Beban (A) Pada Jam 10:00</b>	<b>V Input (kV)</b>	<b>V Output kV Pada Jam 10:00</b>	<b>Daya Beban kVA Pada Jam 10:00</b>
1	108	48,74	20	19,2	926,44
2	108	46,77	20	19,1	884,37
3	108	42,56	20	19	800,55
4	108	45,73	20	18,9	855,65
5	108	41,87	20	19,2	795,86
6	108	52,23	20	18,9	977,27
7	108	54,57	20	19,1	1031,86
$\Sigma$	756	332,47	140	133,4	6272

Tabel 2. Data pengukuran transformator merk Starlite 20 kV pada Jam 19:00

<b>Hari</b>	<b>I Nominal (A)</b>	<b>I Beban (A) Pada Jam 19:00</b>	<b>V Input (kV) Pada</b>	<b>V Output kV Pada Jam 19:00</b>	<b>Daya Beban kVA Pada Jam 19:00</b>
1	108	62,46	20	19,1	1181,05
2	108	61,34	20	19	1153,80
3	108	59,40	20	19,2	1129,07
4	108	61,92	20	18,9	1158,58
5	108	63,42	20	19	1192,93
6	108	68,22	20	18,8	1269,71
7	108	66,83	20	19,1	1263,68
$\Sigma$	756	443,59	140	133,1	8348,82

Nilai Rata-rata :

$$I \text{ Nominal} = \frac{\sum I \text{ Nominal}}{n}$$

$$= \frac{756}{7} = 108 \text{ A}$$

$$I \text{ Beban} = \frac{\sum I \text{ Beban Jam 10:00 dan Jam 19:00}}{n}$$

$$= \frac{388,03}{7} = 55,43 \text{ A}$$

$$V \text{ Input} = \frac{\sum V \text{ Input}}{n}$$

$$= \frac{140}{20} = 20 \text{ kV}$$

$$V \text{ Output} = \frac{\sum V \text{ Output Jam 10:00 dan Jam 19:00}}{n}$$

$$= \frac{133,25}{7} = 19,03 \text{ kV}$$

$$P \text{ Beban} = \frac{\sum \text{Beban Jam 10:00 dan Jam 19:00}}{n}$$

$$= \frac{7310,41}{7} = 1044,34 \text{ kVA}$$

Nilai presentase :

$$I\% = \frac{I \text{ Nominal} - I \text{ Beban}}{I \text{ Nominal}} \times 100\%$$

$$= \frac{108 - 55,43}{108} \times 100\%$$

$$= 48,67\%$$

$$V\% = \frac{V \text{ Input} - V \text{ Output}}{V \text{ Input}} \times 100\%$$

$$= \frac{20 - 19,03}{20} \times 100\%$$

$$= 4,85\%$$

$$P\% = \frac{P \text{ Nominal} - P \text{ Beban}}{P \text{ Nominal}} \times 100\%$$

$$= \frac{1044,34 - 1044,28}{1044,34} \times 100\%$$

$$= 0,005\%$$

Catatan :

$$P \text{ Nominal} = I \text{ Beban} \times V \text{ Output} \times \cos 0.85^\circ$$

$$= 55,43 \times 19,03 \times 0,99$$

$$= 1044,28 \text{ kVA}$$

Nilai error :

Perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 diperoleh nilai error sebesar 12,52%

$$E = \left( \frac{P - P^*}{P} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{80\% - 53,52\%}{80\%} \times 100\%$$

$$= 33,1\%$$

Catatan :

$$P^* = \text{Nilai jumlah presentase}$$

$$= 48,67\% + 4,85\% + 0,005\%$$

$$= 53,25\%$$

P = Nilai batasan pemakaian sebuah transformator ditetapkan sebesar 80 %

Hasil prediksi dari waktu pakai Transformator :

$$\text{Sisa waktu pakai} = (100\% - 33,1\%) = 66,9\%$$

$$\text{Dalam hari } \frac{66,9}{100} \times 7300 \text{ hari}$$

$$= 4883,7$$

$$= 4884 \text{ hari pembulatan}$$

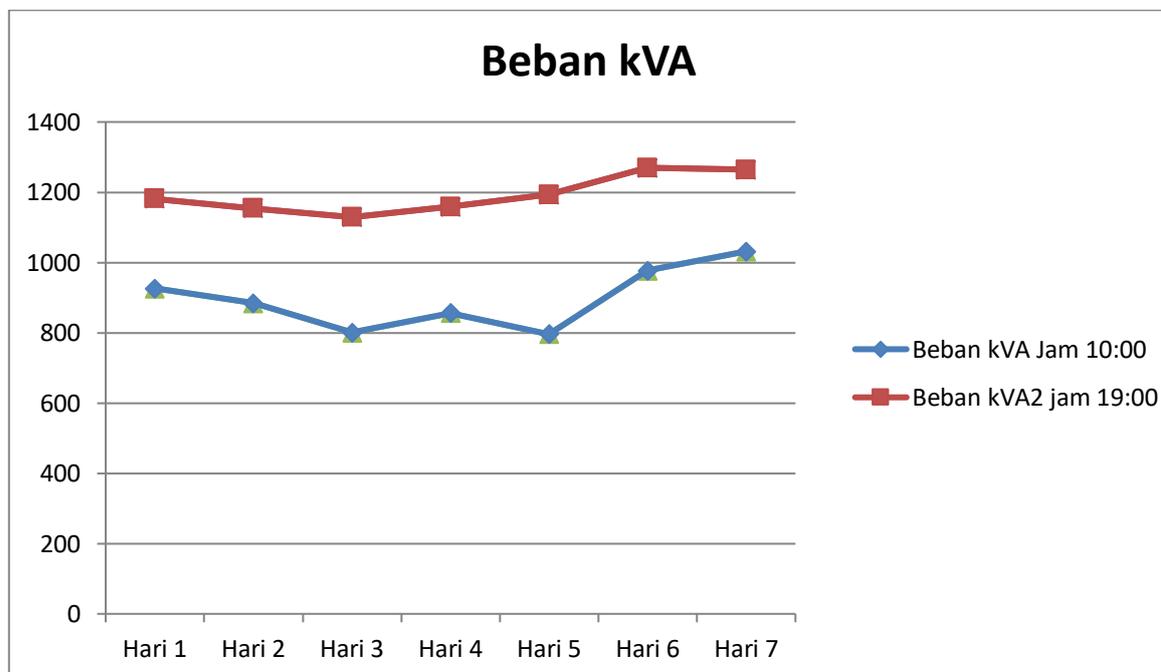
$$\text{Dalam tahun } \frac{4884}{365}$$

$$= 13,38 \text{ tahun}$$

$$= 13 \text{ tahun lebih 4 bulan pembulatan}$$

Catatan :

Prediksi waktu pakai Transformator diasumsikan 20 tahun pemakaian, berdasarkan nilai error didapatkan sisa waktu pakai adalah 13 tahun 4 bulan dengan dasar 1 tahun adalah 365 hari. Maka *lifetime* Transformator akan berkurang 6 tahun 8 bulan dari standarisasi penggunaan Transformator selama 20 tahun.



Gambar 2. Grafik pemakaian beban Transformator Starlite selama 7 hari

### Perhitungan pada Transformator Unindo 20 kV

Tabel 3. Data pengukuran transformator merk Unindo 20 kV pada jam 10:00

Hari	I Nominal (A)	I Beban (A) Pada Jam 10:00	V Input (kV)	V Output kV Jam 10:00	Daya Beban kVA Pada Jam 10:00
1	54	21,48	20	19,1	406,16
2	54	22,46	20	18,9	420,24
3	54	22,57	20	19	424,54
4	54	19,63	20	19	369,24
5	54	20,68	20	19,1	391,03
6	54	22,53	20	19,1	426,01
7	54	25,47	20	18,9	420,43
$\Sigma$	378	154,82	140	133,1	2857,65

Tabel 4. Data pengukuran transformator merk Unindo 20 kV pada jam 19:00

Hari	I Nominal (A)	I Beban (A) Pada Jam 19:00	V Input (kV)	V Output kV Jam 19:00	Daya Beban kVA Pada Jam 19:00
1	54	31,12	20	19	585,36
2	54	32,67	20	18,9	611,28
3	54	32,43	20	19	610
4	54	31,78	20	19,1	600,92
5	54	30,85	20	19,1	583,34
6	54	33,47	20	18,9	626,25
7	54	31,93	20	19	600,60
$\Sigma$	378	224,25	140	133	4217,75

Nilai Rata-rata :

$$I \text{ Nominal} = \frac{\Sigma I \text{ Nominal}}{n}$$

$$= \frac{378}{7} = 54 \text{ A}$$

$$I \text{ Beban} = \frac{\Sigma I \text{ Beban Jam 10:00 dan Jam 19:00}}{n}$$

$$= \frac{189,53}{7} = 27,07 \text{ A}$$

$$V \text{ Input} = \frac{\Sigma V \text{ Input}}{n}$$

$$= \frac{140}{20} = 20 \text{ kV}$$

$$V \text{ Output} = \frac{\sum V \text{ Output Jam 10:00 dan Jam 19:00}}{n}$$

$$= \frac{133,05}{7} = 19 \text{ kV}$$

$$P \text{ Beban} = \frac{\sum \text{Beban Jam 10:00 dan Jam 19:00}}{n}$$

$$= \frac{3537,7}{7} = 505,38 \text{ kVA}$$

Nilai presentase :

$$I\% = \frac{I \text{ Nominal} - I \text{ Beban}}{I \text{ Nominal}} \times 100\%$$

$$= \frac{54 - 27,07}{54} \times 100\%$$

$$= 49,87\%$$

$$V\% = \frac{V \text{ Input} - V \text{ Output}}{V \text{ Input}} \times 100\%$$

$$= \frac{20 - 19}{20} \times 100\%$$

$$= 5 \%$$

$$P\% = \frac{P \text{ Nominal} - P \text{ Beban}}{P \text{ Nominal}} \times 100\%$$

$$= \frac{509,19 - 505,38}{509,19} \times 100\%$$

$$= 0,7\%$$

Catatan :

$$P \text{ Nominal} = I \text{ Beban} \times V \text{ Output} \times \cos 0.85^\circ$$

$$= 27,07 \times 19 \times 0,99$$

$$= 509,18 \text{ kVA}$$

Nilai error :

Perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 diperoleh nilai error sebesar 12,52%

$$E = \left( \frac{P - P^*}{P} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{80\% - 55,57\%}{80\%} \times 100\%$$

$$= 30,53\%$$

Catatan :

$$P^* = \text{Nilai jumlah presentase}$$

$$= 49,87\% + 5, \% + 0,7\%$$

$$= 55,57\%$$

P = Nilai batasan pemakaian sebuah transformator ditetapkan sebesar 80 %

Prediksi waktu pakai transformator :

$$\text{Sisa dari waktu pakai} = (100\% - 30,53\%) = 69,47\%$$

$$\text{Dijadikan dalam hari } \frac{69,47}{100} \times 7300 \text{ hari}$$

$$= 5071,31$$

$$= 5072 \text{ hari pembulatan}$$

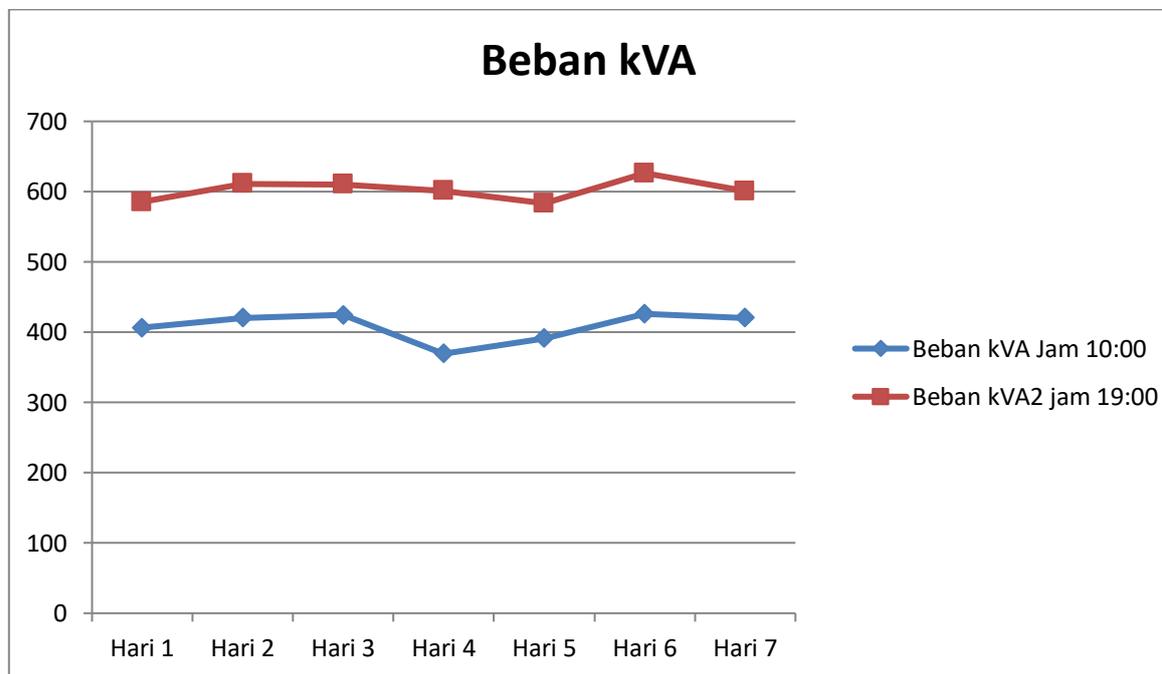
$$\text{Dalam tahun } \frac{5072}{365}$$

$$= 13,8 \text{ tahun}$$

$$= 13 \text{ tahun lebih 8 bulan pembulatan}$$

Catatan :

Prediksi waktu pakai transformator diasumsikan 20 tahun pemakaian, berdasarkan nilai error didapatkan sisa waktu pakai adalah 13 tahun 8 bulan dengan dasar 1 tahun adalah 365 hari. Maka *lifetime* Transformator tersebut berkurang 6 tahun 4 bulan dari standarisasi pemakaian sebuah Transformator normal yaitu 20 tahun.



Gambar 2. Grafik pemakaian beban Transformator Unindo selama 7 hari

## PENUTUP

Hasil penelitian perhitungan *lifetime* Transformator yang telah dilakukan pada salah satu Transformator penyulang di Wonogiri dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Keandalan suatu Transformator selama beroperasi, sangat ditentukan oleh cara pemilihan Transformator, penempatan yang sesuai dengan beban yang disuplai oleh Transformator, serta pemeliharaan dari transformator itu sendiri.
2. Perhitungan dan analisa data dalam memperhitungkan umur waktu pakai Transformator dilakukan dengan cara pengukuran arus, tegangan, dan daya beban pada Transformator merk Starlite dan merk Unindo yang beroperasi di jaringan distribusi.
3. Semakin besar nilai arus pada beban maka daya reaktif yang di bangkitkan Transformator akan semakin besar pula. Transformator merk Starlite memiliki beban tertinggi dihari ke enam dengan beban 1269,71 kVA dan Transformator merk Unindo memiliki beban tertinggi di hari ke enam juga dengan beban 626,25 kVA ini dikarenakan pada hari tersebut pemakaian listrik lebih banyak dibandingkan hari-hari lainnya.
4. Dalam perhitungan penurunan *lifetime* Transformator yang dilakukan pada Transformator jaringan distribusi dengan merk Starlite didapatkan nilai *error* sebesar 33,1% dari standarisasi normal PLN yaitu 80%, maka umur Transformator berkurang 6 tahun 8 bulan dari asumsi pemakaian sebuah Transformator selama 20 tahun, maka waktu sisa pemakaian Transformator tersebut menjadi 13 tahun 4 bulan.
5. Dalam perhitungan penurunan *lifetime* Transformator yang dilakukan pada Transformator jaringan distribusi dengan merk Unindo didapatkan jumlah nilai *error* sebesar 30,53% dari standarisasi normal PLN yaitu 80%, maka umur Transformator berkurang 6 tahun 4 bulan dari asumsi pemakaian sebuah Transformator selama 20 tahun, maka sisa waktu pemakaian Transformator tersebut menjadi 13 tahun 8 bulan.

## **PERSANTUNAN**

Penulis memberikan banyak ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian sampai penyusunan laporan sehingga tugas akhir dapat terselesaikan diantaranya sebagai berikut:

1. ALLAH SWT yang telah memberikan kemudahan serta kelancaran dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
2. Orang tua dan adik tercinta yang telah mendoakan dan memberikan semangat.
3. Bapak Ir.Jatmiko, MT.
4. Dosen dan Staff di jurusan teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Angkatan 2014 Teknik Elektro khususnya kelas B yang senantiasa memotivasi untuk segera menyelesaikan laporan ini.
6. Teman-teman kos Mustika yang telah memberikan semangat.
7. Aullia Niken Wulandari yang menjadi motivasi saya agar senantiasa pantang menyerah sehingga tugas akhir ini segera terselesaikan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Badaruddin, Budi Wirawan. (2014). Setting Koordinasi *Over Current Relay* pada Trafo 60 MVA 150/20 Kv dan Penyulang 20 KV. Volume 18.
- Brown, E. Richard. (2002). *Electric Power Distribution Reliability*. New York: MarcelDekker, Inc.
- Dan Zhou, Chengrong Li, Zhongdong Wang. (2012). *Power Transformer Lifetime Modeling*. The University of Manchester.
- D. M. Said, K. M Nor, M. S. Majid. (2010). *Analysis of Distribution Transformer Losses and Life Expectancy using Measured Harmonic Data*. University Teknologi Malaysia.

- Fajli Mustafa, Shaga Shaulagara, Muhammad Ihsan. (2017). *The Through Fault Current effect of 150/20 kV Transformer to Its Insulation Resistance and Tan Delta test in PT. PLN (Persero) TJBB APP Durikosambi*. PT PLN (PERSERO) TJBB Jakarta, Indonesia.
- Momoh, A. James. (2008). *Electric Power Distribution, Automation, Protection, And Control*, London: CRC Press Taylor & Francis Group Boca Raton.
- Sujito. (2009). *Perhitungan Life Time Transformator Jaringan Distribusi 20 kV DI APJ Malang*. Universitas Negeri Malang.
- Syafriyudin. (2011). *Perhitungan Lama Waktu Pakai Transformator Jaringan Distribusi 20 kV di APJ Yogyakarta*. Institut Sains dan Teknologi Akprind, Yogyakarta
- Winarso. (2014). *Estimasi Umur Pakai dan Rugi Daya Transformator*. Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Volume 15 No. 2.