

# THE ANALYSIS OF LOADING INFLUENCE ON POWER TRANSFORMER TEMPERATURE

(Cases Study of Power Transformer 30 MVA on Substation 70 kV Puuwatu)

Mardansyah<sup>1</sup>, Mustarum M, ST., MIT., Ph.D.<sup>2</sup>, Tachrir, ST., MT.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik S-1 Elektro, <sup>2</sup>Dosen Pembimbing

Program Studi S-1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Haluoleo

Jln. H. E. A. Mokodompit– Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, Kendari 93232

Email : mardansyah\_elektro@yahoo.com

## ABSTRACT

Transformer is one of important part in electricity energy system to convert the power with out changing frequency. On this final task it will be analyzed specifically about the influence of loading on temperature and study about the relation between color rised by transformer reel with losses and it is influence to efficiency. This study uses survey method, to get factual description about the influence of loading to transformer temperature on power transformer 30 MVA on substation 70 kV Puuwatu.

The result of analysis show that when a transformer receive a load, it will rise losses changed to be heat.heat rised can increase transformer temperature. A bigger load accepted, losses will be bigger and cause the increasing of high temperature and it goes beyond limitation allowed. This case can cause damage on transformer. The average temperature everyday namely on monday, temperature on primary reel is 58,46 degree celcius, secondary reel is 57 degree celcius and transformator oil is 56,67 degree celcius, on Tuesday, temperature on primary reel is 59,71 degree celcius, secondary reel is 58,38 and transformator oil is 58,08 degree celcius, on wednesday, temperature on primary reel is 61,92 degree celcius, secondary reel is 60,58 degree celcius and transformator oil is 56,38 degree celcius, on Thursday temperature on primary reel is 59,88 degree celcius, secondary reel is 58,67 degree celcius and transformator oil is 58,58 degree celcius.

The large heat value on transformator is influence by the large of losses value on transformer. While the losses has influence on efficiency value. So, efficiency value tend to decrease if the heat and losses is high, coverseley, the efficiency value will be high if heat energy and losses on transformer is low.

**Keywords :** *Power Transformer, Loading, Temperature, Losses, Heat Energy, Eficiency.*

## I. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu bagian paling penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan daya tanpa mengubah frekuensi listrik, namun transformator seringkali menjadi peralatan listrik yang kurang diperhatikan dan tidak diberikan

perawatan yang memadai. Transformator yang sudah dirawatpun tidak lepas dari fenomena kegagalan (*failure*), baik kegagalan termal maupun kegagalan elektrik. Jika kegagalan ini berlansung terus-menerus maka akan menyebabkan kerusakan (*breakdown*). Padahal perbaikan transformator yang rusak tidaklah mudah dan tidak dapat

dikerjakan dalam waktu singkat. Hal ini nantinya akan berdampak pada sejumlah kerugian finansial yang sangat besar [1].

Pada transformator daya yang paling diperhatikan adalah daya masukan dan daya keluaran dari trafo yang dilihat pada alat ukur yang ada pada gardu induk, dari hasil yang tercatat pada alat ukur maka akan dapat dengan mudah didapat rugi-rugi daya yang terjadi. Dalam prakteknya biasa yang diperhatikan pada gardu induk hanya rugi daya yang terjadi, jika rugi-rugi daya yang terjadi tidak mencolok atau daya keluaran hanya terpaut lebih sedikit dari daya masukan maka dianggap transformator tersebut sudah beroperasi sesuai dengan yang diharapkan, sedangkan rugi-rugi daya tersebut sangat berpengaruh terhadap besarnya energi panas [2].

Apabila transformator digunakan terus menerus maka pada bagian komponennya terutama bagian kumparan akan menjadi panas akibat aliran arus dan jika dibiarkan terjadi kenaikan temperatur yang dapat merusak isolasi transformator [2].

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui apakah pembebanan mempengaruhi temperatur atau suhu pada transformator daya 30 MVA di Gardu Induk 70 kV Puuwatu.
2. Untuk mengetahui apakah kalor yang dibangkitkan oleh kumparan transformator ada hubungannya dengan daya yang hilang atau  $P_{loss}$  dan dapat mempengaruhi nilai efisiensi transformator yang ditinjau dari data penelitian yang diambil untuk kerja transformator satu jam selama satu hari.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Mengingat begitu luasnya permasalahan tentang transformator daya Gardu Induk 70 kV Puuwatu maka penyusun menitik beratkan pada lingkup :

1. Pengambilan data berdasarkan perubahan temperatur/ suhu kumparan dan minyak transformator yang dikendalikan oleh temperatur relay pada transformator daya 30 MVA Gardu Induk 70 kV Puuwatu.
2. Perhitungan energi panas yang dilepaskan kumparan akibat aliran arus pada transformator daya 30 MVA di Gardu Induk 70 kV Puuwatu.
3. Perhitungan energi panas yang diterima oleh minyak trafo akibat panas dari kumparan trafo pada transformator daya 30 MVA di Gardu Induk 70 kV Puuwatu.
4. Perhitungan efisiensi trafo pada transformator daya 30 MVA di Gardu Induk 70 kV Puuwatu.

## II. Tinjauan Pustaka

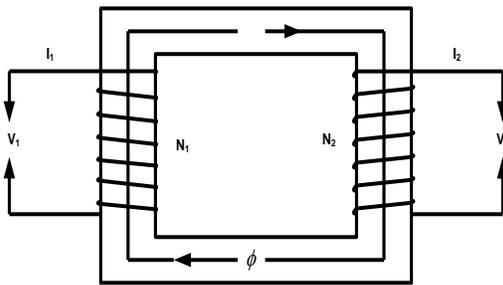
### 2.1 Teori Transformator

Transformator merupakan peralatan statis untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya dengan mengubah tegangan tanpa merubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak/ berputar. Pengubahan tegangan dilakukan dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik yang terjadi dalam satu waktu pada transformator adalah induksi sendiri pada masing-masing lilitan diikuti oleh induktansi bersama yang terjadi antar lilitan [1].

Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi. Lilitan primer merupakan bagian

transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder [1].

Berikut ini gambar 2.1 rangkaian sederhana dari sebuah transformator.



Gambar 2.1 Rangkaian Transformator Sederhana [1]

Dimana :

$V_1$  = Tegangan primer (V)

$I_1$  = Arus primer (A)

$N_1$  = Jumlah lilitan primer

$V_2$  = Tegangan sekunder (V)

$I_2$  = Arus sekunder (A)

$N_2$  = Jumlah lilitan sekunder

## 2.2 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalir arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di

kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalir arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi) [2].

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \text{ Volt}$$

Dimana :

$e$  = Gaya gerak listrik/GGL (Volt)

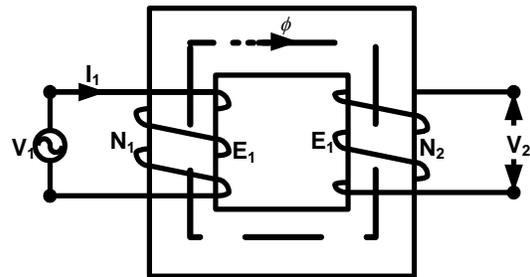
$N$  = Jumlah lilitan

$d\Phi$  = Perubahan fluks magnet (weber)

$dt$  = Perubahan waktu (detik)

### 2.2.1 Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoidal, akan mengalir arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal, dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$ . Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sephasa dan juga berbentuk sinusoid [2].

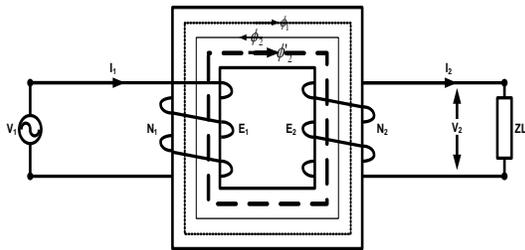


Gambar 2.2 Transformator dalam keadaan tanpa beban [2]

### 2.2.2 Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ , akan mengalir arus  $I_2$  pada kumparan sekunder,

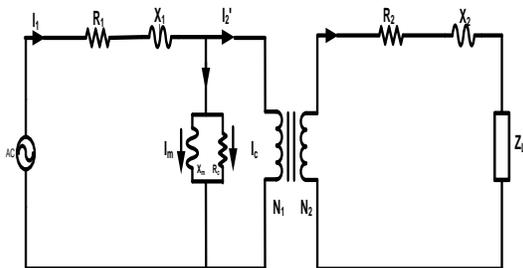
$$\text{dimana } I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$$



Gambar 2.3 Transformator dalam keadaan berbeban [2]

### 2.3 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Fluks yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_m$  tidak seluruhnya merupakan Fluks Bersama ( $\Phi_M$ ), sebagian darinya hanya mencakup kumparan pimer ( $\Phi_1$ ) atau mencakup kumparan sekunder ( $\Phi_2$ ) saja dalam model rangkaian ekuivalen yang dipakai untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya fluks bocor  $\Phi_1$  dengan mengalami proses transformasi dapat ditunjukkan sebagai reaktansi  $X_1$  dan fluks bocor  $\Phi_2$  dengan mengalami proses transformasi dapat ditunjukkan sebagai reaktansi  $X_2$  sedang rugi tahanan ditunjukkan dengan  $R_1$  dan  $R_2$ , dengan demikian model rangkaian dapat dituliskan seperti gambar 2.4



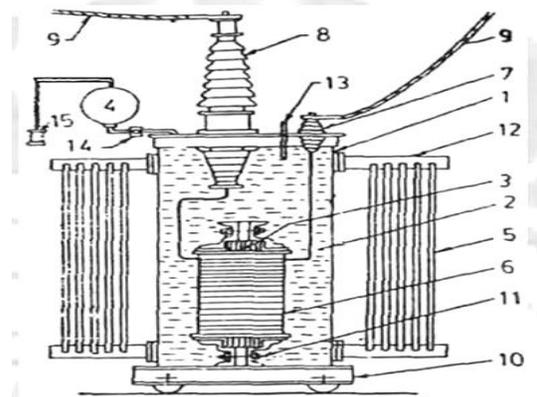
Gambar 2.4 Rangkaian ekuivalen sebuah transformator [2]

### 2.4 Transformator Daya

Salah satu bagian terpenting dari sistem tenaga listrik adalah transformator yang disebut sebagai transformator daya atau *power transformer*. Transformator daya dapat didefinisikan sebagai sebuah transformator yang digunakan untuk memindahkan energi listrik yang terletak

diberbagai bagian dari rangkaian listrik atau generator dengan rangkaian primer dari sistem distribusi [3].

Berikut adalah gambar dari sebuah transformator daya.



Gambar 2.5 contoh sebuah transformator daya [3]

Keterangan :

1. *Mounting flange*
2. Tangki transformator
3. *Core*
4. Konservator
5. Sirip radiator (*Radiator Fin*)
6. *Windings*
7. *LV Bushing*
8. *HV Bushing*
9. *Terminal Connecting*
10. *Carriage*
11. Baut pada *core*
12. *Header*
13. Termometer
14. Relay buchholz
15. *Breather*

### 2.5 Sistem Pendingin

Pengoperasian transformator daya tidak terlepas dari adanya daya-daya yang hilang. Daya-daya hilang ini terkonversi dalam bentuk panas. Panas timbul pada bagian inti, belitan, minyak isolator dan tangki transformator. Panas yang timbul ini biasanya akan dibuang ke atmosfer/ lingkungan sekitar melalui tangki transformator dan sistem pendingin.

Sistem pendingin pada transformator digunakan untuk mengurangi panas dan menjaga kenaikan temperatur agar tetap berada dibawah batasan tertentu. Temperatur maksimum bahan isolator pada belitan dan minyak sangat tergantung dari pembebanan, jenis sistem pendingin [3].

Tabel 2.1 Macam-macam sistim pendingin [3].

No.	MACAM SISTEM PENDINGIN	MEDIA			
		DIDALAM 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			

### 2.5.1 Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Perlu dikemukakan bahwa minyak transformator harus memiliki mutu yang tinggi dan senantiasa berada dalam keadaan bersih. Disebabkan energi panas yang dibangkitkan dari inti maupun kumparan, maka suhu minyak akan naik. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan pada minyak transformator. Lagi pula dalam jangka waktu yang lama akan terbentuk berbagai pengotoran yang akan menurunkan mutu minyak transformator. Hal-hal ini dapat mengakibatkan

kemampuan pendinginan maupun isolasi minyak akan menurun [4].

### 2.5.2 Minyak Sebagai Bahan Isolator Cair Pada Transformator

Isolator merupakan suatu sifat bahan yang mampu untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya kebocoran arus/hubung singkat, maupun sebagai pelindung mekanis dari kerusakan yang diakibatkan oleh korosif atau *stressing* [4]. Minyak isolator yang dipergunakan dalam transformator daya mempunyai beberapa tugas utama, yaitu :

1. Media isolator
2. Media pendingin
3. Media/alat untuk memadamkan busur api
4. Perlindungan terhadap korosi dan oksidasi.

### 2.5.3 Metode Pendinginan Trafo Daya

Jika suatu transformator sedang beroperasi, maka akan timbul rugi-rugi inti dan tembaga pada transformator itu yang berubah menjadi panas. Minyak pendingin berperan menghantarkan panas yang terjadi pada inti dan kumparan transformator ke udara bebas. Ada dua bahan pendingin yang digunakan pada transformator daya, yaitu minyak mineral dan minyak sintesis [4].

Dilihat dari sirkulasi minyak dalam transformator, maka metode pendinginan dibagi atas dua jenis :

1. Minyak bersirkulasi sendiri
2. Minyak bersirkulasi terpaksa (*forced oil*).

### 2.6 Energi Panas pada Kumparan Transformator

Apabila sebuah transformator pada sisi primernya diberi sumber tegangan

dan sisi sekundernya diberi beban maka pada kumparannya akan timbul panas [7]. Berdasarkan termodinamika panas maka energi yang dilepaskan oleh kumparan transformator diasumsikan sebagai kerja listrik dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$W_e = \frac{\delta W_e}{dt}$$

Keterangan :

$W_e$  = Daya listrik (Watt)

$\delta W_e$  = Kerja listrik (Joule)

$dt$  = Perubahan waktu (detik)

## 2.7 Energi Panas yang Diterima Minyak Transformator

Besarnya panas yang diterima oleh minyak transformator dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_{oli} = m_{oli} \times C_p \times \Delta T$$

Keterangan :

$Q_{oli}$  = Panas yang diterima minyak transformator (kJ)

$m_{oli}$  = Massa minyak transformator (kg)

$C_p$  = Panas jenis minyak trafo : 2,047 (Konstanta) (kJ/kg/K)

$\Delta T$  = Selisih temperatur minyak transformator ( $^{\circ}C$ )

## 2.8 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang terjadi selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar/bergerak umumnya antara 50-60% karena ada rugi gesek dan angin. Trafo tidak memiliki bagian yang bergerak/berputar, maka rugi-rugi ini tidak muncul, namun masih tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya [9]. Trafo daya saat ini rata-rata

dirancang dengan besar efisiensi minimal 95 % [8].

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara matematis ditulis :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi}} \times 100\%$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi transformator (%)

$P_{in}$  = Daya input transformator (watt)

$P_{out}$  = Daya output transformator (watt)

$\sum \text{rugi}$  = Total rugi-rugi (watt)

## III. Metodologi Penelitian

### 3.1 Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian dengan metode survey. Penelitian bertujuan untuk memperoleh gambaran aktual mengenai pengaruh pembebanan terhadap suhu transformator daya pada transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini telah dilaksanakan pada bulan Juni 2013, dengan lokasi penelitian adalah gardu induk 70 kV Puuwatu, Objek yang diteliti adalah transformator daya dengan kapasitas 30 MVA.

### 3.3 Metode Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang diperlukan dalam menunjang pembahasan tugas akhir ini, maka penulis menggunakan prosedur sebagai berikut :

1. Penelitian lapangan (*field research*) yaitu penelitian yang dilakukan secara langsung dalam kegiatan lingkungan kerja. Dalam metode ini ada dua cara yang dilakukan penulis yaitu :
  - Observasi (*observation*).
  - Wawancara (*interview*).

2. Penelitian kepustakaan (*library research*) yaitu membaca literatur berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

### 3.4 Data yang Dibutuhkan

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini adalah :

#### 1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari peninjauan lapangan atau survey langsung dilapangan.

Adapun data primer dari penelitian tugas akhir ini antara lain :

- Data temperatur atau suhu minyak dan kumparan transformator daya tiap jam selama waktu penelitian.
- Data suhu lingkungan sekitar transformator daya tiap jam selama waktu penelitian .

#### 2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data-data penunjang dari hasil penelitian yang diperoleh dari lapangan. Pengumpulan data sekunder diambil dari kantor-kantor instansi pemerintah atau lembaga penelitian atau studi yang telah ada sebelumnya. Data tersebut berupa buku-buku, makalah atau laporan.

Adapun data sekunder dari penelitian tugas akhir ini antara lain :

- Data spesifikasi trafo daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu.
- Data pembebanan transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu (Data Daya aktif, Daya reaktif, Tegangan primer, Tegangan sekunder, Arus primer, Arus sekunder).

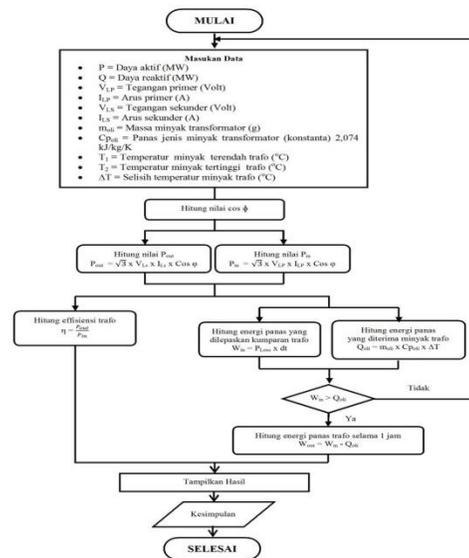
### 3.5 Analisa Data

Setelah semua data yang dibutuhkan telah terkumpul lengkap, langkah

berikutnya dalah mengolah data yang ada sehingga pada akhirnya dapat ditarik kesimpulan dari hasil analisa. Adapun variabel-variabel yang akan dianalisis adalah sebagai berikut :

1. Menghitung energi panas yang dilepaskan kumparan transformator dan yang diterima minyak transformator.
2. Menghitung efisiensi transformator

### 3.6 Bagan Alir



Gambar 3.1 diagram alir penelitian

## IV. Analisa dan Pembahasan

### 4.1 Perhitungan Data

#### 4.1.1 Perhitungan energi panas pada transformator

Pembebanan transformator untuk waktu lama akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga pada besi dan kumparan-kumparan. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (didalam transformator), maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut trafo perlu dilengkapi dengan alat/

sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Dalam perhitungan data, faktor yang paling utama adalah mencari  $P_{Loss}$  atau rugi-rugi daya, yaitu  $P_{in}$  dikurangi  $P_{out}$ . Setelah didapat nilai  $P_{Loss}$ , maka nilai tersebut dapat digunakan untuk menghitung energi panas yang dilepaskan kumparan transformator selama waktu tertentu ( $W_{in}$ ), yaitu  $P_{Loss}$  dikalikan dengan lamanya transformator bekerja. Oleh karena minyak transformator berfungsi sebagai pendingin sekaligus isolator maka energi panas keseluruhan dari transformator ( $W_{total}$  atau  $W_{out}$ ) adalah  $W_{in}$  dikurangi energi panas yang diterima minyak transformator ( $Q_{oli}$ ).

Salah satu contoh untuk menghitung energi panas pada transformator selama 1 jam pada tanggal 17 Juni 2013 jam 14.00.

▪ *Enegi panas yang dilepaskan kumparan transformator*

Dik :  $P = 14,7 \text{ MW}$   
 $Q = 4,9 \text{ MVAR}$   
 $V_{LP} = 62 \text{ kV}$   
 $I_{LP} = 140 \text{ A}$   
 $V_{LS} = 20,0 \text{ kV}$   
 $I_{LS} = 431,0 \text{ A}$   
 $dt = 3600 \text{ detik}$

Dit :  $W_{in} = \dots\dots\dots ?$

Penyel :

- $Tg \phi = \frac{Q}{P}$   
 $= \frac{4,9}{14,7}$   
 $Tg \phi = 0,15$   
 $\phi = \text{Inv Tan } \phi$   
 $\phi = \text{Inv Tan } 0,15$   
 $\phi = 8,53$   
 $\text{Cos } \phi = 0,98$
- $P_{in} = \sqrt{3} \times V_{LP} \times I_{LP} \times \text{Cos } \phi$   
 $= \sqrt{3} \times 62 \times 140 \times 0,98$

$= 14.883,86 \text{ kW}$

- $P_{out} = \sqrt{3} \times V_{LS} \times I_{LS} \times \text{Cos } \phi$   
 $= \sqrt{3} \times 20,0 \times 431,0 \times 0,98$   
 $= 14.780,98 \text{ kW}$

- $P_{Loss} = P_{in} - P_{out}$   
 $= 14.883,86 - 14.780,98$   
 $= 102,88 \text{ kW}$

- $W_{in} = P_{Loss} \times dt$   
 $= 102,88 \times 3600$   
 $= 370.381,74 \text{ kJ}$

▪ *Energi panas yang diterima minyak transformator*

Dik :  $m_{oli} = 10.930 \text{ kg}$   
 $C_{p_{oli}} = 2,047 \text{ kJ/kg/K}$   
 $T_1 = 51^0 \text{ C}$   
 $T_2 = 60^0 \text{ C}$   
 $\Delta T = 9^0 \text{ C}$

Dit :  $Q_{oli} = \dots\dots\dots ?$

Penyel :

$Q_{oli} = m_{oli} \times C_{p_{oli}} \times \Delta T$   
 $= 10.930 \times 2,047 \times 9$   
 $= 201.363,39 \text{ kJ}$

▪ *Jadi energi panas transformator selama 1 Jam*

Dik :  $W_{in} = 370381,74 \text{ kJ}$   
 $Q_{oli} = 201.363,39 \text{ kJ}$

Dit :  $W_{out} = \dots\dots\dots ?$

Penyel:

$W_{out} = W_{in} - Q_{oli}$   
 $= 370.381 - 201.363,39$   
 $= 169018,35 \text{ kJ}$

**4.1.2 Perhitungan efisiensi trafo**

Berikut ini contoh perhitungan efisiensi transformator daya berdasarkan data pembebanan transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV pada hari senin tanggal 17 juni 2013 jam 14.00

Dik :  $P_{in} = 14.883,86 \text{ kW}$   
 $P_{out} = 14.780,98 \text{ kW}$

Dit :  $\eta = \dots\dots\dots ?$

Penyel :

$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{14.780,98}{14.883,36} \times 100\% \\
 &= 0,9931 \times 100\% \\
 &= 99,31\%
 \end{aligned}$$

### 4.1.3 Hasil Perhitungan Energi Panas dan Efisiensi Transformator Daya 30 MVA pada Gardu Induk 70 kV Puuwatu

Hasil perhitungan data mulai dari tanggal 17 – 20 juni 2013 dapat dilihat pada tabel.

Untuk Hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari senin, 17 juni 2013 dapat dilihat pada tabel 3.9, hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari selasa, 18 juni 2013 dapat dilihat pada tabel 3.10, hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari rabu, 19 juni 2013 dapat dilihat pada tabel 3.11, dan hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari kamis, 20 juni 2013 dapat dilihat pada tabel 3.12.

Dari hasil perhitungan data terlihat bahwa besarnya energi panas pada transformator cenderung lebih tinggi dari pada besar energi panas pada minyak transformator atau  $W_{out} > Q_{oli}$ .

Besarnya energi panas pada transformator dipengaruhi oleh besarnya daya yang hilang atau  $P_{Loss}$  sedangkan besarnya energi panas pada minyak transformator dipengaruhi oleh besarnya selisih suhu/ temperatur dari minyak transformator.

Besarnya energi panas pada transformator sangat dipengaruhi oleh besarnya daya yang hilang dengan kata lain besarnya energi panas pada transformator berbanding lurus dengan besarnya daya yang hilang, sedangkan nilai efisiensi berbanding terbalik dengan besarnya daya yang hilang  $P_{Loss}$  dan besar energi panas pada transformator atau nilai efisiensi berbanding terbalik dengan besarnya daya yang hilang dan besarnya energi panas pada transformator .

Tabel 4.1 Hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari senin, 17 juni 2013

Jam (Waktu)	P (MW)	Temperatur/ Suhu (°C)			Pin (kW)	Pout (kW)	Ploss (kW)	Win (kJ)	Qoli (kJ)	Wout (kJ)	Efisiensi (%)
		Kompartemen Primer	Kompartemen Sekunder	Minyak Transformator							
01.00	9,7	55	54	54	9682,03	8406,32	278,71	992556,98	201363,39	791193,59	97,15
02.00	9,7	54	53	53	9393,64	8062,14	322,50	1148952,5	201363,39	947591,08	96,55
03.00	9,8	53	52	52	9592,29	9141,48	441,75	1196265,2	201363,39	1100921,8	92,59
04.00	7,5	52	51	51	7566,76	7087,89	278,87	1039323,8	201363,39	802558,45	96,21
05.00	6,5	52	50	51	7291,59	6375,75	717,83	1264205,8	201363,39	1238242,4	99,16
06.00	8,2	53	51	52	7930,06	7559,05	378,41	1362265,5	201363,39	1160923,1	92,23
07.00	9,7	54	52	53	9791,56	9777,87	413,69	1400779,2	201363,39	1237914,8	92,78
08.00	9	55	53	54	9261,07	8998,12	162,95	996264,82	201363,39	385261,45	99,24
09.00	9,8	56	55	55	10298,22	9645,14	563,08	2027094,3	201363,39	1825750,9	94,48
10.00	9,6	59	57	56	9787,26	9132,06	655,20	2358720,6	201363,39	215757,3	93,31
11.00	10,4	60	58	57	10094,39	9475,70	618,69	2222778,8	201363,39	2025912,4	93,87
12.00	10,1	62	59	57	10409,69	12240,70	868,99	2292247,8	201363,39	2170964,4	95,86
13.00	10,2	63	61	59	12580,07	11970,06	199,11	484957,63	201363,39	483852,34	99,97
14.00	14,7	64	62	60	14033,06	14700,98	102,88	370811,74	201363,39	109091,87	99,31
15.00	14,4	63	62	60	14552,29	13855,36	496,93	178843,8	201363,39	157890,4	96,54
16.00	15,1	63	62	60	15202,80	13939,75	192,05	691379,26	201363,39	490051,87	96,74
17.00	15,7	63	61	60	15743,07	13955,33	678,00	244403,5	201363,39	223151,1	99,68
18.00	16,1	63	60	60	15946,99	13171,25	775,74	2792979,4	201363,39	2591315	95,14
19.00	15,5	61	60	59	15309,11	15961,68	247,44	897076,1	201363,39	698044,71	98,38
20.00	15,4	60	59	59	15202,80	14998,06	204,74	737059,67	201363,39	53806,28	99,65
21.00	15,6	60	59	59	15309,11	15141,93	167,19	601876,14	201363,39	400896,95	99,95
22.00	15,7	60	59	59	15452,40	15047,94	387,46	132284,9	201363,39	112375,85	97,62
23.00	14,9	60	59	60	15040,68	15489,96	450,72	1559603,2	201363,39	1340293,8	97,28
24.00	9,1	60	59	60	9142,94	9164,07	978,87	3523935,4	201363,39	321272	89,29
Rata-rata		58,46	57	56,97			456,33			130844	

Tabel 4.2 Hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari selasa, 18 juni 2013

Jam (Waktu)	P (MW)	Temperatur/ Suhu (°C)			Pin (kW)	Pout (kW)	Ploss (kW)	Win (kJ)	Qoli (kJ)	Wout (kJ)	Efisiensi (%)
		Kompartemen Primer	Kompartemen Sekunder	Minyak Transformator							
01.00	8,8	57	55	56	8824,00	8302,62	521,38	1079712,1	156615,97	1720553,3	94,09
02.00	8,8	56	55	55	8824,00	8371,90	452,11	1627500,8	156615,97	1470644,9	94,88
03.00	8,8	55	54	54	8824,00	8475,81	348,19	125485,3	156615,97	1069879,3	96,85
04.00	8,9	55	54	53	8930,32	8382,29	548,03	1972900,1	156615,97	1816244,1	93,86
05.00	8,9	56	55	54	8930,32	8371,90	558,42	2010808,6	156615,97	185802,7	93,75
06.00	8,9	57	55	55	8930,32	8371,90	558,42	2010808,6	156615,97	185802,7	93,75
07.00	9,2	57	56	56	9249,26	8640,63	608,63	219993,2	156615,97	204077,2	93,42
08.00	12,2	58	57	57	12332,24	12037,07	295,16	104710,1	156615,97	90545,92	93,19
09.00	11,7	59	57	58	11471,10	11282,80	188,29	67787,21	156615,97	51241,24	96,86
10.00	12,2	59	58	58	12266,03	11773,34	492,69	142679,7	156615,97	147963,7	96,30
11.00	11,8	60	59	59	11681,57	11453,39	228,18	821458,07	156615,97	648421,1	98,85
12.00	11,3	61	60	60	11266,62	11224,80	33,82	12893,25	156615,97	2768,722	99,68
13.00	12,4	62	61	60	12332,24	12390,65	141,69	530077,39	156615,97	353461,42	98,85
14.00	12,7	63	62	60	12611,20	12355,69	255,50	34302,23	156615,97	186410,26	99,25
15.00	12,2	62	61	60	12332,24	12037,07	295,16	104710,1	156615,97	112375,85	97,62
16.00	12,1	62	60	60	12013,40	11579,33	434,07	1526240,6	156615,97	1406234,6	96,39
17.00	13,2	61	60	60	12438,65	12337,62	101,03	3637148,7	156615,97	30798,9	99,19
18.00	14,4	63	61	60	14777,55	14226,97	550,58	188317,1	156615,97	182091,7	96,27
19.00	13	62	61	60	13591,79	12638,71	853,08	310790,7	156615,97	290454,8	93,61
20.00	13,4	62	61	60	13298,16	12638,71	659,45	241615,1	156615,97	218499,2	93,11
21.00	13,6	62	61	60	13714,41	13247,11	467,30	168273,9	156615,97	152607,9	96,59
22.00	13,6	62	60	60	13714,41	13247,11	467,30	168273,9	156615,97	152607,9	96,59
23.00	12	61	59	60	12141,11	11406,82	2707,29	830808,5	156615,97	655062,5	93,17
24.00	9,6	61	59	59	13027,04	9083,16	4843,88	1740792	156615,97	1727406	83,23
Rata-rata		60,71	58,38	58,08			663,92			232853	

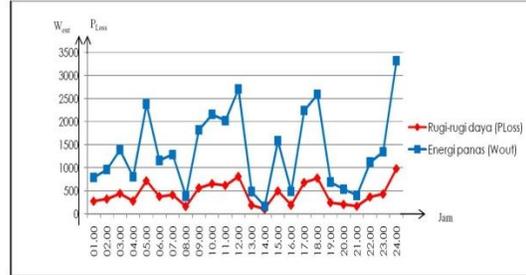
Tabel 4.3 Hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari rabu, 19 juni 2013

Jam (Waktu)	P (kW)	Temperatur Suhu (°C)			Pin (kW)	Pout (kW)	PLoss (kW)	Win (kJ)	Qoli (kJ)	Wout (kJ)	Efisiensi (%)
		Kumparan Primer	Kumparan Sekunder	Minyak Transformator							
01.00	9	60	59	54	8990,32	8404,77	435,54	1567949,4	223737,1	1344212,3	95,12
02.00	8,9	62	61	53	9355,57	8626,86	728,71	1623352,2	223737,1	1299615,1	92,21
03.00	8,7	64	62	51	9142,94	8206,12	936,83	1572727,2	223737,1	1249056,6	89,75
04.00	8,6	62	61	50	8541,57	7902,13	639,44	1501991,1	223737,1	1207254	92,51
05.00	8,5	62	61	50	8629,63	7967,64	661,99	1538163,3	223737,1	1219426,2	92,33
06.00	9,2	62	61	50	9355,57	8590,11	765,46	1756402	223737,1	1532665	91,82
07.00	8,8	61	60	50	9050,59	8307,30	742,68	1675668	223737,1	1451931	91,70
08.00	8,2	62	61	51	8541,57	7767,05	774,52	1588276,2	223737,1	1364539	90,93
09.00	10,7	63	61	54	10523,94	9954,51	569,43	2049482,2	223737,1	1825745,1	94,59
10.00	11,6	63	61	56	11471,10	11009,40	461,70	1662103,7	223737,1	1438366,6	95,98
11.00	12	63	61	57	11892,05	11888,36	203,69	1732103	223737,1	1508343,93	98,20
12.00	13,8	63	61	58	13786,36	12812,17	974,19	2507098,8	223737,1	2283362,7	92,85
13.00	13,6	63	61	59	13681,12	12970,93	710,20	256076,5	223737,1	2332669,4	94,81
14.00	14,3	61	60	60	14102,08	13218,21	883,77	2181584,2	223737,1	1957847,1	93,75
15.00	13,5	60	59	60	13375,88	12798,47	777,41	2798893,3	223737,1	2575152,2	94,27
16.00	14	60	58	60	13996,84	13285,07	711,77	2623895,5	223737,1	2399652,4	94,91
17.00	14	60	59	60	14352,29	13569,30	782,99	2815790,3	223737,1	2592052,2	94,54
18.00	13,8	62	61	60	14139,67	13390,17	949,50	3481910,4	223737,1	3258173,3	93,28
19.00	15,2	64	62	60	15628,05	15426,46	197,59	311318,14	223737,1	405910,4	98,74
20.00	16	62	61	60	15435,43	14748,21	677,22	3422790,1	223737,1	3189093	95,65
21.00	15,6	62	61	60	14052,31	14007,09	386,21	3078665,5	223737,1	4054229,4	97,73
22.00	15,6	62	61	60	14052,31	14098,83	1654,47	5960108,8	223737,1	5732171,7	89,69
23.00	14,6	61	60	60	14906,17	14017,31	472,86	18922313	223737,1	14795876	72,16
24.00	15	62	61	60	14883,88	9263,20	5680,68	20450381	223737,1	2022644	61,83
Rata-rata		61,92	60,58	56,38			1127,16				

Tabel 4.12 Hasil perhitungan  $P_{in}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{Loss}$ ,  $W_{in}$ ,  $Q_{oli}$ ,  $W_{out}$  dan efisiensi transformator daya 30 MVA pada gardu induk 70 kV Puuwatu hari kamis, 20 juni 2013

Jam (Waktu)	P (kW)	Temperatur Suhu (°C)			Pin (kW)	Pout (kW)	PLoss (kW)	Win (kJ)	Qoli (kJ)	Wout (kJ)	Efisiensi (%)
		Kumparan Primer	Kumparan Sekunder	Minyak Transformator							
01.00	9	58	56	58	9290,41	9074,92	215,49	177594,56	201363,39	574401,17	97,68
02.00	8,6	57	55	57	8858,30	8475,81	382,49	1576955,9	201363,39	1175921,5	95,68
03.00	8,5	56	55	56	8858,30	8289,01	569,29	2044445,7	201363,39	1840821,3	93,57
04.00	8,5	55	53	55	8858,30	8567,88	400,41	1765486,3	201363,39	1564122,9	94,66
05.00	8,2	54	53	54	8554,95	7993,63	561,31	2020095,9	201363,39	1808422,5	93,44
06.00	9,6	55	54	54	9731,25	9313,96	417,29	1493073,8	201363,39	1293874,4	95,73
07.00	11	55	54	54	11228,57	10954,09	294,28	1659407,8	201363,39	858044,38	97,38
08.00	11,8	58	57	56	11976,92	11596,14	380,78	1578087,8	201363,39	1169444,4	96,82
09.00	11,8	59	58	57	12083,86	11643,43	440,43	1585363,9	201363,39	1384173,5	96,36
10.00	12,5	60	59	58	12822,42	12285,22	547,19	1968989,4	201363,39	1768535	95,74
11.00	12,8	61	60	59	13260,17	12690,57	569,60	2058593,3	201363,39	1848195,9	95,70
12.00	13	62	61	60	13367,10	12822,22	544,87	1961526,8	201363,39	1768163,4	95,92
13.00	13	63	61	62	13367,10	12822,22	544,87	1961526,8	201363,39	1768163,4	95,92
14.00	13,2	64	62	63	13590,98	12859,46	721,52	2597464,7	201363,39	2396101,3	94,69
15.00	11,8	63	62	62	12404,67	11643,43	761,24	2744454,5	201363,39	2539091,1	93,86
16.00	11,8	63	62	61	12404,67	11643,43	761,24	2744454,5	201363,39	2539091,1	93,86
17.00	11,6	61	60	60	12865,86	11372,65	711,21	2560723,9	201363,39	2359009,5	94,11
18.00	14	61	60	60	13901,79	13749,36	152,43	548758,64	201363,39	347375,25	98,90
19.00	15,6	62	61	60	15988,15	15502,94	685,21	2466742,4	201363,39	2265579	95,71
20.00	15	62	61	60	15339,98	14751,48	588,50	2118583,6	201363,39	1917220,2	96,36
21.00	14,6	62	61	60	15123,92	13954,64	1189,29	4281427,8	201363,39	4080664,4	92,14
22.00	15	62	61	60	15339,98	13362,50	1977,48	7119222,3	201363,39	6917559,9	97,11
23.00	14	62	61	60	14259,70	12442,25	1817,44	6542793,5	201363,39	6341430,1	87,25
24.00	14,4	62	61	60	14891,83	10177,83	4513,98	16250314	201363,39	1684899	69,28
Rata-rata		59,88	58,67	58,58			826,48				2773979

Grafik ini menggambarkan hubungan antara rugi-rugi daya ( $P_{Loss}$ ) transformator dengan energi panas pada transformator untuk pembebanan hari senin, 17 juni 2013.



## V. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembebanan pada transformator sangat mempengaruhi suhu transformator. Suatu transformator ketika menerima beban, maka akan timbul rugi-rugi daya yang diubah menjadi panas. Panas yang ditimbulkan dapat menaikkan temperatur transformator. Semakin besar beban yang diterima, maka rugi-rugi menjadi semakin besar dan menyebabkan kenaikan temperatur yang semakin tinggi dan dapat melampaui batas yang diijinkan. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Rata-rata temperatur/ suhu tiap hari yaitu hari senin, suhu pada kumparan primer  $58,46^{\circ}\text{C}$ , Kumparan sekunder  $57^{\circ}\text{C}$  dan minyak transformator  $56,67^{\circ}\text{C}$ , hari selasa, suhu pada kumparan primer  $59,71^{\circ}\text{C}$ , kumparan sekunder  $58,38^{\circ}\text{C}$  dan minyak transformator  $58,08^{\circ}\text{C}$ , hari rabu, suhu pada kumparan primer  $61,92^{\circ}\text{C}$ , kumparan sekunder  $60,58^{\circ}\text{C}$  dan

minyak transformator 56,38<sup>0</sup>C, hari kamis, suhu pada kumparan primer 59,88<sup>0</sup>C, kumparan sekunder 58,67<sup>0</sup>C dan minyak transformator 58,58<sup>0</sup>C.

2. Seperti yang terlihat pada tabel hasil perhitungan, besarnya nilai energi panas yang dilepaskan kumparan transformator cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai energi panas yang diterima minyak transformator.

Besar nilai energi panas pada transformator dipengaruhi oleh besarnya nilai daya yang hilang ( $P_{Loss}$ ) pada transformator. Sedangkan daya yang hilang tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi. Jadi nilai efisiensi cenderung menurun apabila energi panas dan daya yang hilang tinggi, sebaliknya akan tinggi apabila energi panas dan daya yang hilang pada transformator tersebut rendah.

Rata-rata daya yang hilang tiap hari yaitu hari senin, 17 juni 2013 sebesar 436,33 kW dan energi panas pada transformator sebesar 1369,41 kJ, hari selasa, 18 juni 2013 rata-rata daya yang hilang sebesar 663,03 kW dan energi panas pada transformator sebesar 2230,24 kJ, hari rabu, 19 juni 2013 rata-rata daya yang hilang sebesar 1127 kW dan energi panas pada transformator sebesar 3834,04 kJ, hari kamis, 20 juni 2013 rata-rata daya yang hilang sebesar 826,48 kW dan energi panas pada transformator sebesar 2773,97 kJ

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat saya ajukan antara lain sebagai berikut :

1. Petugas gardu induk sebaiknya juga memperhatikan/ atau mencatat suhu

pada kumparan dan minyak transformator.

2. Perlu dilakukan pengecekan terhadap alat ukur voltmeter, amperemeter, dan wattmeter apakah terjadi penurunan kemampuan pembacaan.
3. Untuk mempermudah pencatatan dan mengurangi tingkat kesalahan pembacaan alat ukur maka disarankan menggunakan suatu aplikasi komputer.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rudy Setyabudi, 2008. *Transformator pada Sistem Transmisi Listrik*. Materi Kuliah Transmisi dan Distribusi Daya Listrik, Depok.
- [2] Abdul Kadir, 1989. *Transformator*, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo Kelompok Gramesia.
- [3] IEE Std. C57.12.80-1978, 1978. *IEEE Standart Terminology for Power and Distribution Transformers*. New York : Institute of Electrical and Electronics engineers, Inc.
- [4] \_\_\_\_\_, 2000. *Transformer Maintenance : Facilities Instructions, Standart and Tehnique*, Golorado : United States Departement The Interior Bureau Of Reclamation,
- [5] IEC, 1972. *Loading Guide For Oil Immersed Transformer*, IEC Publication.
- [6] PLN, 1991. *Transformator Tenaga*, SPLN 8-1.
- [7] Totok Prasetyo, 2002. *Termodinamika Dasar*, Semarang : Mutiara Persada.
- [8] Linsley Trevon, 2004. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, edisi ketiga, Jakarta : Erlangga.
- [9] \_\_\_\_\_, *Transformer, Lesson In Electric Circuits – Volume II Chapter 9*.

## Biodata Penulis



Mardansyah (E1D1 08 042), Lahir 20 Juli 1990. Mempunyai hobi Maen Futsal.

Penulis Mengawali Pendidikannya di SD Negeri 2 Wakorsel Selama 6 Tahun.

Setelah itu melanjutkan ke SLTP Negeri 1 Wakorsel, 3 Tahun Berikutnya Penulis Melanjutkan Studinya di SMA Negeri 2 Wakorsel dan Sekarang sedang Menyelesaikan Studi Strata 1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Haluoleo Konsentrasi Sistem Tenaga Listrik.

Kendari, Juli 2013

Mengetahui,

Pembimbing I

Mustarum M, ST., MIT., Ph.D  
NIP. 19730122 200112 1 002

Pembimbing II

Tachrir, ST., MT.  
NIP. 19690921 200212 1 001