

**PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP EFISIENSI
TRANSFORMATOR 60 MVA DI GARDU INDUK 150/20 KV
SANGGRAHAN**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



DISUSUN OLEH :

NANANG PRAYOGI

NIM 30601800062

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2022

FINAL PROJECT

THE EFFECT OF PEAK LOAD ON THE 60 MVA TRANSFORMER EFFICIENCY AT SANGGRAHAN 150/20 KV SUBSTATION (IN ENGLISH)

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree
(S1) at Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By :
NANANG PRAYOGI

NIM 30601800062

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISALAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR 60 MVA DI GARDU INDUK 150/20 KV SANGGRAHAN”** ini disusun oleh :

Nama : Nanang Prayogi

NIM : 30601800062

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Jumat

Tanggal : 30 Desember 2022

Pembimbing I

Pembimbing II


Ir. Hj. Ida Widiastuti, M.T.
NIDN. 0005036501


Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN. 0618066301

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro




Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR 60 MVA DI GARDU INDUK 150/20 KV SANGGRAHAN” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Jumat

Tanggal : 30 Desember 2022

**TIM PENGUJI**

Penguji II

Penguji III

Ir. Hj. Ida Widiastuti, M.T.
NIDN. 0005036501

Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN. 0618066301

Ketua Penguji


Dedi Nugroho, S.T., M.T.
NIDN. 0617126602

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nanang Prayogi
NIM : 30601800062
Judul Tugas Akhir : PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP
EFISIENSI TRANSFORMATOR 60 MVA DI
GARDU INDUK 150/20 KV SANGGRAHAN

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul da isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 30 Desember 2022

Yang Menyatakan



Nanang Prayogi

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nanang Prayogi
 NIM : 30601800062
 Program Studi : Teknik Elektro
 Fakultas : Teknologi Industri
 Alamat Asal : Karangsari 1 RT 02 RW 06, Sidoagung, Kec.Tempuran,
 Kab.Magelang

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul :
**PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP EFISIENSI
 TRANSFORMATOR 60 MVA DI GARDU INDUK 150/20 KV
 SANGGRAHAN**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang, 30 Desember 2022

Yang Menyatakan



Nanang Prayogi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

Pertama,

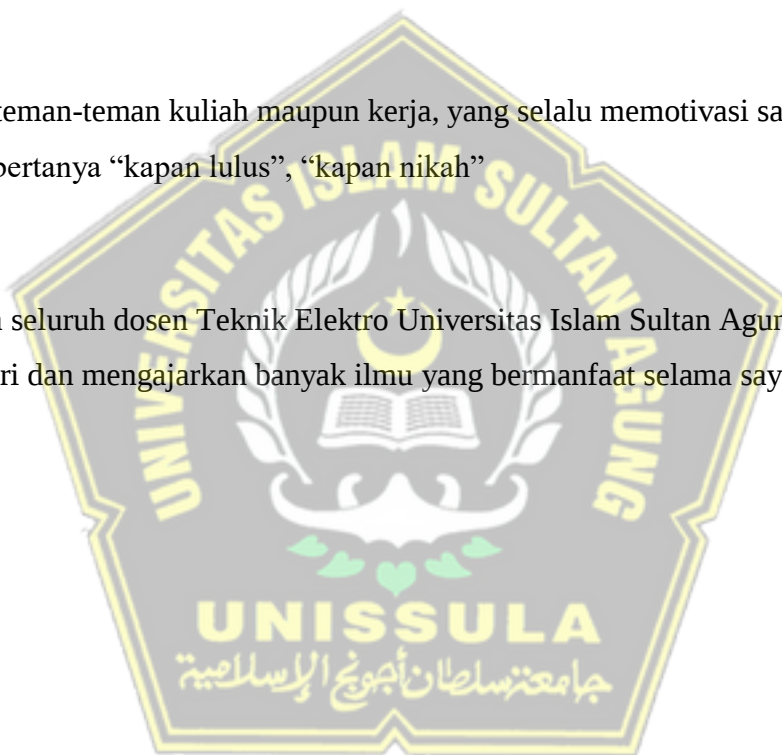
Kepada kedua orang tua saya yang saya cintai dan saya banggakan, yang sudah mendidik, membesarkan dan selalu menjadi penyemangat saya dalam menyelesaikan kuliah ini

Kedua,

Untuk teman-teman kuliah maupun kerja, yang selalu memotivasi saya dan yang sering bertanya “kapan lulus”, “kapan nikah”

Ketiga,

Kepada seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberi dan mengajarkan banyak ilmu yang bermanfaat selama saya kuliah



HALAMAN MOTTO

“Maka Sesungguhnya Bersama Kesulitan Ada Kemudahan”

(QS Al-Insyirah : 5)

“Sesungguhnya Allah Tidak Akan Mengubah Keadaan Suatu Kaum, Sebelum Mereka Mengubah Keadaan Diri Mereka Sendiri”

(QS Ar-Rad : 11)

“ Balas Dendam Terbaik Adalah Menjadikan Dirimu Lebih Baik”

(Ali bin Abi Thalib)



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena rahmat dan ridho-Nya saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR 60 MVA DI GARDU INDUK 150/20 KV SANGGRAHAN”. Tidak lupa shalawat dan salam kita ucapkan untuk Nabi kita Nabi Muhammad SAW.

Selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, banyak bantuan seperti bimbingan, motivasi, saran, dan doa yang saya dapatkan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik.
2. Orang tua yang telah memberi semangat dan dukungan dalam menyelesaikan kuliah ini.
3. Ibu Ir. Hj. Ida Widiastuti, MT dan Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT, selaku dosen pembimbing saya yang telah memberikan banyak masukan, bimbingan serta saran untuk kelancaran penulisan tugas akhir ini. Mohon maaf untuk segala kesalahan dan keterbatasan saya.
4. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan semoga dapat bermanfaat bagi saya kedepannya.
5. Bapak Arya Bagus Bayunanta Wicaksana, yang telah memberikan bimbingan selama proses pengambilan data untuk kelancaran penulisan laporan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Elektro 2018 terima kasih atas kebersamaan kita selama ini melewati suka dan duka selama menjadi mahasiswa. Semoga kesaudaraan kita tetap terjalin sampai kapanpun.
7. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca masih sangat diharapkan. Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat dikembangkan.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Transformator	8
2.2.2 Transformator Tanpa Beban	9
2.2.3 Transformator Dengan Beban	11
2.2.4 Bagian-bagian Transformator	12
2.2.5 Daya Listrik	28
2.2.6 Rugi-rugi Transformator	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Model Penelitian	33
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	33

3.3	Alat yang Digunakan	34
3.4	Diagram Penelitian.....	34
3.4.1	Langkah-langkah Penelitian.....	36
3.5	Data Yang Digunakan.....	36
3.5.1	<i>Name plate</i> transformator di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan.....	36
3.5.2	Data Beban Puncak Siang dan Malam	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Hasil Penelitian	43
4.1.1	Rugi – rugi dan Efisiensi Trasformator sisi 20 Kv	43
4.1.2	Rugi Inti.....	44
4.1.3	Perhitungan Daya Semu.....	45
4.1.4	Rugi – rugi dan Efisiensi Trasformator sisi 150 kV	45
4.1.5	Hasil Perhitungan.....	46
4.2	Pembahasan	53
4.2.1	Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 150 KV	53
4.2.2	Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 20 KV	54
4.2.3	Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 150 KV	55
4.2.4	Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 20 KV	56
4.2.5	Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 150 KV	57
4.2.6	Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 20 KV	58
4.3	Grafik Pembebanan Terhadap Efisiensi	59
4.3.1	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 KV Jam 10:00	59
4.3.2	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 KV Jam 19:00	60
4.3.3	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 KV Jam 10:00	60
4.3.4	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 KV Jam 19:00.....	61
4.3.5	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 KV Jam 10:00.....	61
4.3.6	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 KV Jam 19:00.....	62
4.3.7	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 KV Jam 10:00.....	62
4.3.8	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 KV Jam 19:00.....	63
4.3.9	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 KV Jam 10:00.....	63
4.3.10	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 KV Jam 19:00.....	64
4.3.11	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 KV Jam 10:00.....	64
4.3.12	Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 KV Jam 19:00.....	65
4.4	Grafik Pembebanan Terhadap Daya Output	65
BAB V PENUTUP		69

5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Elektromagnetik	8
Gambar 2. 2 Elektromagnetik Pada Trafo	9
Gambar 2. 3 Transformator Tanpa Beban	9
Gambar 2. 4 Transformator Berbeban	11
Gambar 2. 5 Inti Besi	12
Gambar 2. 6 Belitan Trafo	13
Gambar 2. 7 Bushing Transformator	13
Gambar 2. 8 Bagian-bagian Bushing	14
Gambar 2. 9 Kertas Isolasi Pada Bushing	15
Gambar 2. 10 Konduktor Bushing Yang dilapisi Kertas Isolasi	15
Gambar 2. 11 Indikator Level Minyak Bushing	17
Gambar 2. 12 Gasket/Seal Antara Flange Bushing Dengan Body Trafo	17
Gambar 2. 13 Tap Pengujian	17
Gambar 2. 14 Radiator	19
Gambar 2. 15 Konservator	19
Gambar 2. 16 Silica Gel	20
Gambar 2. 17 Kontruksi Konservator dengan Rubber Bag	20
Gambar 2. 18 Dehydrating Breather	21
Gambar 2. 19 Minyak Transformator	22
Gambar 2. 20 Tembaga yang dilapisi Kertas Isolasi	22
Gambar 2. 21 OLTC pada Transformator	23
Gambar 2. 22 Kontak Switching pada Diverter Switch	24
Gambar 2. 23 Netral Grounding Resistor (NGR)	25
Gambar 2. 24 Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR	25
Gambar 2. 25 Rele Bucholz	26
Gambar 2. 26 Rele Jansen	26
Gambar 2. 27 Rele Sudden Pressure	27
Gambar 2. 28 Bagian-bagian Rele Thermal	28
Gambar 2. 29 Segitiga Daya	29

Gambar 3. 1 Single Line Diagram Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan	33
Gambar 3. 2 Lokasi Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan	34
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 4. 1 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 10:00	53
Gambar 4. 2 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 19:00	53
Gambar 4. 3 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 10:00	54
Gambar 4. 4 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 19:00	54
Gambar 4. 5 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 150 kV Jam 10:00	55
Gambar 4. 6 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 150 kV Jam 19:00	55
Gambar 4. 7 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 10:00	56
Gambar 4. 8 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 19:00	56
Gambar 4. 9 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 10:00	57
Gambar 4. 10 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 19:00	57
Gambar 4. 11 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 10:00	58
Gambar 4. 12 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 19:00	58
Gambar 4. 13 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 10:00	59
Gambar 4. 14 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 19:00	60
Gambar 4. 15 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 10:00	60
Gambar 4. 16 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 19:00	61
Gambar 4. 17 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 kV Jam 10:00	61
Gambar 4. 18 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 kV Jam 19:00	62
Gambar 4. 19 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 10:00	62
Gambar 4. 20 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 19:00	63
Gambar 4. 21 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 10:00	63
Gambar 4. 22 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 19:00	64
Gambar 4. 23 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 10:00	64
Gambar 4. 24 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 19:00	65
Gambar 4. 25 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 1 Jam 10:00	66
Gambar 4. 26 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 1 Jam 19:00	66
Gambar 4. 27 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 3 Jam 10:00	67

Gambar 4. 28	Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 3 Jam 19:00	67
Gambar 4. 29	Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 4 Jam 10:00	68
Gambar 4. 30	Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 4 Jam 19:00	68



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Macam-macam Pendingin Transformator	18
Tabel 3. 1 Name Plate Transformator Unit 1.....	36
Tabel 3. 2 Name Plate Transformator Unit 3.....	36
Tabel 3. 3 Name Plate Transformator Unit 4.....	36
Tabel 3. 4 Beban Puncak Siang pada Transformator Unit 1.....	37
Tabel 3. 5 Beban Puncak Malam pada Transformator Unit 1	38
Tabel 3. 6 Beban Puncak Siang pada Transformator Unit 3.....	39
Tabel 3. 7 Beban Puncak Malam pada Trasnformator Unit 3.....	40
Tabel 3. 8 Beban Puncak Siang pada Transformator Unit 4.....	41
Tabel 3. 9 Beban Puncak Malam pada Transformator Unit 4	42
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Pada Transformator 1 Sisi 20 kV	47
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Pada Transformator 1 Sisi 150 kV.....	48
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Pada Transformator 3 Sisi 20 kV.....	49
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Pada Transformator 3 Sisi 150 kV.....	50
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Pada Transformator 4 Sisi 120 kV.....	51
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Pada Transformator 4 Sisi 20 kV.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Name Plate Transformator di Gardu Induk 150/20 Kv Sanggrahan.....	72
Lampiran 2	SPLN 61:1997	74



ABSTRAK

Permasalahan yang timbul pada Transformator di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan dari suplai tenaga listrik yang terus menerus dan bertambah yang menyebabkan panas dari kumparan transformator sehingga menghasilkan rugi – rugi yang berupa rugi inti dan rugi tembaga. Rugi-rugi daya yang dihasilkan transformator menimbulkan perbedaan daya masukan dan daya keluaran. Berubah-ubahnya beban atau pembebanan yang berlebih juga dapat berakibat menurunnya efisiensi transformator. Untuk itu perlunya pembagian pembebanan yang merata dan pemeliharaan transformator agar transformator dapat bekerja dengan maksimal dan memenuhi standar.

Tugas akhir ini membahas tentang pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator 60 MVA di gardu induk 150/20 kV sanggrahan. Model ditetapkan sebagai sebuah single line diagram gardu induk 150/20 KV sanggrahan. Parameter yang ditentukan meliputi : data tegangan, beban, dan arus transformator

Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi pada transformator daya 1 sisi 150 KV dengan beban puncak tertinggi 32,8 MW nilai efisiensi sebesar 99,687 %, beban puncak terendah 21,1 MW nilai efisiensi 99,679 %. Efisiensi pada transformator daya 1 sisi 20 KV beban puncak tertinggi 33,4 MW nilai efisiensi 99,635 %, beban puncak terendah 20,17 MW nilai efisiensi 99,661 %. Efisiensi pada transformator daya 3 sisi 150 KV beban puncak tertinggi 33 MW nilai efisiensi 99,630 %, beban puncak terendah 18 MW nilai efisiensi 99,679 %. Efisiensi pada transformator daya 3 sisi 20 KV beban puncak tertinggi 33,74 MW nilai efisiensi sebesar 99,657 %, beban puncak terendah 16,81 MW nilai efisiensi 99,663 %. Efisiensi pada transformator daya 4 sisi 150 KV dengan beban puncak tertinggi 31 MW nilai efisiensi sebesar 99,66 % sedangkan beban puncak terendah 8,4 MW nilai efisiensi 99,45%. Efisiensi pada transformator 4 sisi 20 KV beban puncak tertinggi 29,63 MW nilai efisiensi 99,64 %, ketika beban terendah 8,27 MW nilai efisiensi 99,48 %.

Kata kunci : Beban puncak, efisiensi, transformator

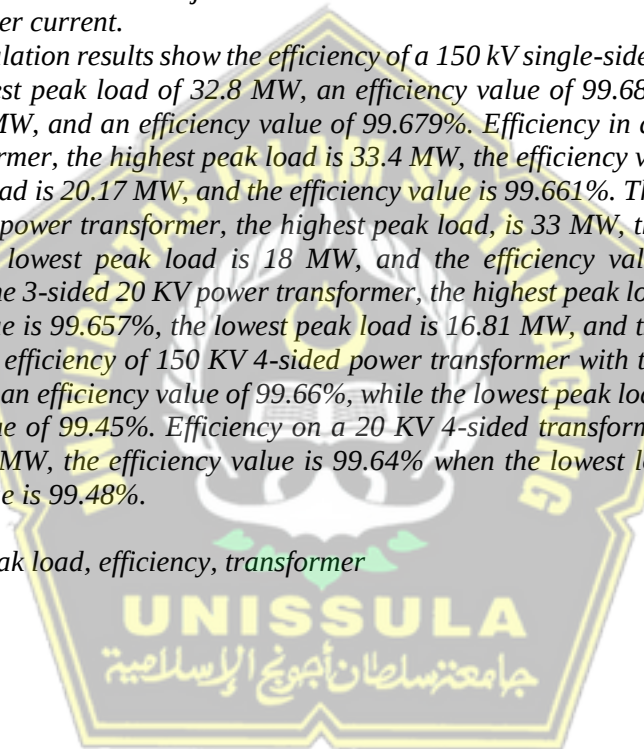
ABSTRACT

The problems that arise in the transformer at the Sanggrahan 150/20 KV substation are from a continuous and increasing supply of electricity which causes heat from the transformer coils resulting in losses in the form of core losses and copper losses. The power losses generated by the transformer cause a difference in input power and output power. Variations in load or overload can also result in a decrease in the efficiency of the transformer. For this reason, it is necessary to distribute the load evenly and maintain the transformer to work optimally and meet the standards.

This final project discusses the effect of peak load on the efficiency of a 60 MVA transformer at the Sanggrahan 150/20 kV substation. The model is a single-line diagram of the 150/20 KV substation objection. Parameters determined include: data voltage, load, and transformer current.

The calculation results show the efficiency of a 150 kV single-sided power transformer with the highest peak load of 32.8 MW, an efficiency value of 99.687%, the lowest peak load of 21.1 MW, and an efficiency value of 99.679%. Efficiency in a single-sided 20 KV power transformer, the highest peak load is 33.4 MW, the efficiency value is 99.635%, the lowest peak load is 20.17 MW, and the efficiency value is 99.661%. The efficiency of the 3-sided 150 KV power transformer, the highest peak load, is 33 MW, the efficiency value is 99.630%, the lowest peak load is 18 MW, and the efficiency value is 99.679%. The efficiency of the 3-sided 20 KV power transformer, the highest peak load, is 33.74 MW, the efficiency value is 99.657%, the lowest peak load is 16.81 MW, and the efficiency value is 99.663%. The efficiency of 150 KV 4-sided power transformer with the highest peak load of 31 MW has an efficiency value of 99.66%, while the lowest peak load is 8.4 MW with an efficiency value of 99.45%. Efficiency on a 20 KV 4-sided transformer, the highest peak load is 29.63 MW, the efficiency value is 99.64% when the lowest load is 8.27 MW, the efficiency value is 99.48%.

Keywords: Peak load, efficiency, transformer



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan yang terletak di Kota Magelang menjadi salah satu penyuplai listrik, gardu induk ini menyuplai kebutuhan listrik untuk Kota Magelang dan Kabupaten Magelang. Dimana di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan mempunyai 3 unit trafo yang mempunyai kapasitas 60 MVA di setiap trafo. Dari data beban ketiga transformator, terdapat perbedaan pada saat beban puncak yang mana akan mempengaruhi kinerja transformator.

Permasalahan yang timbul pada transformator di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan dari suplai tenaga listrik yang terus menerus dan bertambah yang menyebabkan panas dari kumparan transformator sehingga menghasilkan rugi – rugi yang berupa rugi inti dan rugi tembaga. Rugi-rugi daya yang dihasilkan transformator menimbulkan perbedaan daya masukan dan daya keluaran. Semakin besar rugi-rugi yang ditimbulkan semakin besar daya yang hilang dari trafo tersebut [1]. Berubah-ubahnya beban atau pembebanan yang berlebih juga dapat berakibat menurunnya efisiensi transformator. Untuk itu perlunya pembagian pembebanan yang merata dan pemeliharaan transformator agar transformator dapat bekerja dengan maksimal dan memenuhi standar.

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya input dan daya output. Berdasarkan uraian tersebut penulis mengambil judul tugas akhir “Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator di Gardu Induk 150/20 Kv Sanggrahan”.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti dan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh beban puncak terhadap rugi-rugi transformator di Gardu Induk 150/20kV Sanggrahan?
2. Bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap daya output (sisi sekunder) transformator?
3. Bagaimana pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator di Gardu Induk 150/20kV Sanggrahan?

1.3 Pembatasan Masalah

Mengingat banyaknya hal-hal yang perlu diperhatikan dalam evaluasi ini dan keterbatasan peneliti dalam melakukan penelitian maka peneliti membuat batasan masalah antara lain : penelitian ini dilakukan pada transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan, data yang digunakan merupakan data beban puncak yang terjadi pada transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan pada bulan Agustus 2022 dan membahas mengenai rugi-rugi serta efisiensi transformator daya dalam keadaan beban puncak.

1.4 Tujuan

Tujuan dari dibuatnya tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh beban puncak terhadap rugi – rugi transformator di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan.
2. Mengetahui pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator.
3. Mengetahui nilai efisiensi transformator di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang didapat dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui kinerja transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan
2. Menambah keandalan dalam hal kualitas listrik yang disalurkan oleh Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan
3. Peneliti mengetahui hasil dari perhitungan rugi-rugi dan efisiensi pada transformator

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan berbagai aspek yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian, mengidentifikasi rumusan masalah, menentukan batasan masalah, membuat tujuan penelitian, mengidentifikasi manfaat dalam melakukan penelitian, dan sistematika penulisan penyusunan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori yang digunakan peneliti sebagai landasan untuk melakukan urutan prosedur dalam penelitian, yaitu teori yang meliputi prinsip kerja transformator, bagian-bagian transformator, daya listrik, efisiensi transformator dan perhitungan efisiensi transformator yang digunakan peneliti untuk melakukan penelitian dalam laporan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan-tahapan yang perlu dilakukan dalam suatu penelitian yang sistematis sehingga dapat digunakan sebagai metode untuk memecahkan masalah yang ditemukan pada penelitian ini. Tahapan-tahapan tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk menyelesaikan penelitian.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Bab ini berisi data hasil penelitian yang digunakan dalam melakukan perhitungan dalam penelitian. Kemudian dilakukan analisa untuk menentukan hasil dari penelitian yang digunakan untuk menentukan hasil kesimpulan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang penarikan kesimpulan dan hasil dari penelitian yang telah diselesaikan oleh penulis, kemudian diharapkan penulis dapat memberikan beberapa saran ataupun perbaikan untuk efisiensi transformator pada beban puncak yang dapat berguna untuk perusahaan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam mendukung penelitian ini, penulis mengambil beberapa referensi dari penelitian terdahulu, diantaranya :

- a. Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Susut Umur Transformator Step up 6kV / 70kV Di PLTU Sumbawa Barat Unit 1 dan 2 2x7 MW PT. PLN (Persero) UPK Tambora [2] dimana dilakukan penelitian dengan tujuan mengetahui besar beban fluktuatif terhadap efisiensi dan susut umur trafo 6KV / 70 KV dan juga untuk mengetahui beban optimal didapat efisiensi terbaik dan meminimalisir susut umur. Dengan hasil penelitian efisiensi tertinggi PLTU unit 1 sebesar 93,3 % dengan output daya 5,8 MW serta daya input 6,21 MW, semetara untuk yang paling rendah sebesar 83,9 % dengan 5,5 MW untuk output daya dan 6,55 MW untuk inputnya. Unit 2 memiliki efisiensi tertinggi sebesar 95,7 % , 5,5 MW untuk daya output dan daya input sebesar 5,75 MW. Efisiensi terendah pada unit 2 yaitu 61,03 % dan 3,3 MW untuk daya output , kemudian 5,41 MW untuk daya inputnya. Susut umur trafo pada unit 1 adalah 0,0469 jam/hari dengan rata-rata beban 5,8 MW, kemudian susut umur pada unit 2 adalah 0,0311 jam/hari dengan rata-rata beban 5,2 MW. Susut umur trafo pada unit 2 lebih kecil dikarenakan pembebanan pada unit 1 lebih tinggi. Beban optimal di PLTU sebesar 80-85%.
- b. Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7[3] yang bertujuan untuk mengetahui presentase hilangnya usia pakai trafo. Dimana efisiensi trafo IV tertinggi dan terjadi pada saat beban puncak sebesar 96,66 % dan nilai suhu hot-spot 105,8747 0C terjadi pada beban tertinggi 23,2 MW, selanjutnya didapat hasil Loss of life transformator sebesar 0,02144% setiap harinya pada transformator IV GI Sukamerindu Bengkulu.

- c. Analisa Efisiensi Transformator Daya 20 MVA Gardu Induk 150 KV Jember Terhadap Perkembangan Beban[4], dimana diperlukannya suatu studi mengenai optimalisasi efisiensi transformator di gardu induk 150 kV Jember, dengan tujuan dapat ditentukannya efisiensi transformator yang optimal sesuai dengan perkembangan beban yang akan datang. Caranya dengan mengestimasi beban yang akan datang berupa arus (Ampere) di sisi sekunder, kemudian arus (Ampere) di sisi primer dapat diketahui, selanjutnya daya masukan (Watt) di sisi primer dan daya keluaran (Watt) di sisi sekunder dapat ditentukan, maka dari itu rugi-rugi transformator dapat ditentukan. Hasil penelitian berupa efisiensi maksimal aliran daya trafo 20 MVA pada siang hari adalah 6,293313079 MVA kemudian pada malam hari sebesar 9,171572756 MVA nilai efisiensi 88,83340979 % pada siang hari dan pada malam hari 88,83400525 %, sedangkan efisiensi nominalnya sebesar 99,91341995 %.
- d. Studi Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk GIS Listrik penelitian ini bertujuan mengetahui efisiensi transformator daya 1 dan 2 di Gardu Induk GIS Listrik[1]. Efisiensi transformator daya 1 saat beban tertinggi pada siang hari sebesar 99,42% dan pada saat beban tertinggi malam sebesar 99,44%. Kemudian saat beban terendah pada siang hari sebesar 99,43%, pada saat beban terendah malam hari 99,42%. Dan efisiensi pada transformator daya 2 saat beban tertinggi pada siang hari sebesar 99,41% sedangkan pada saat beban tertinggi malam hari sebesar 99,41%, kemudian saat beban terendah siang 99,37% dan terendah malam 99,41%.
- e. Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA 150/20KV Unit 1 Dan 2 Gardu Induk Kaliwungu[5], dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban puncak terhadap nilai efisiensi transformator. Dan didapatkan hasil yaitu transformator 60 MVA 150/20kV unit 1 memiliki beban puncak rata – rata pada siang dan malam hari lebih dari 66% dengan nilai efisiensi kurang dari 95% kemudian pada unit 2 beban puncak rata – rata pada siang dan malam hari lebih dari 17% dengan nilai efisiensi lebih dari 96%. Perbedaan beban puncak rata –

rata pada kedua transformator berpengaruh pada nilai efisiensi kedua traformator. Nilai efisiensi pada unit 1 sebesar 94,37% dengan beban 34,4 MW pada siang hari, 93,84% nilai efisiensi dengan beban 38,8 MW pada malam hari. Kemudian pada unit 2 nilai efisiensi sebesar 96,35% beban 9,95 MW pada siang hari dan nilai efisiensi 96,32% beban 9,8 MW pada malam hari.

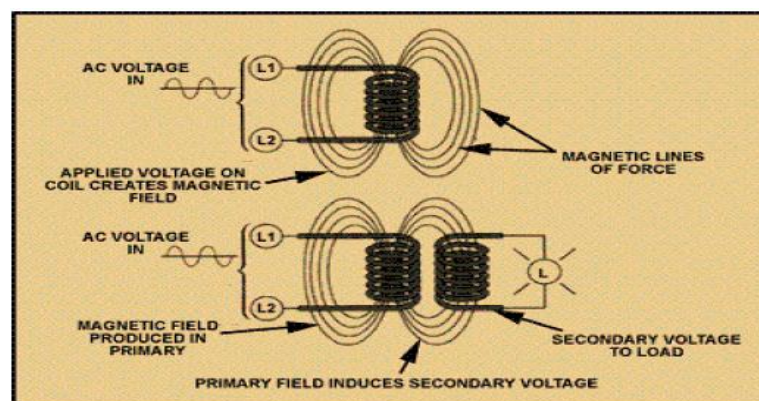
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Transformator

Transformator atau biasa disebut trafo merupakan suatu alat energi listrik yang memindahkan atau menyalurkan listrik tegangan rendah ke tegangan menengah dan sebaliknya yang prinsip kerjanya dengan kopling magnet atau induksi magnet[6].

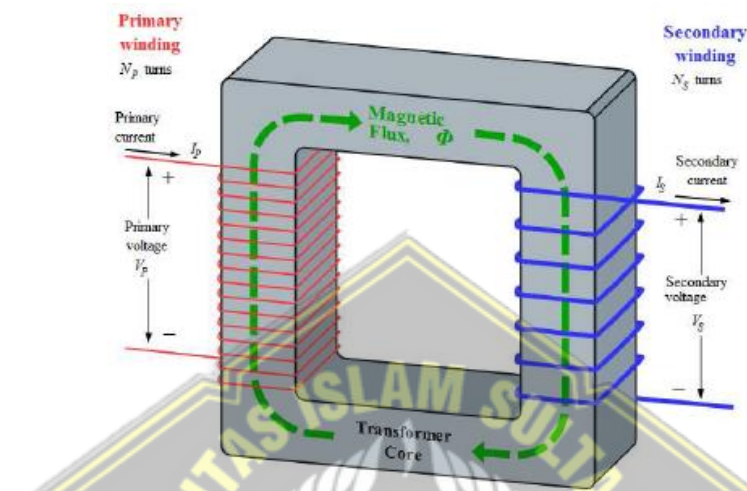
Transformator adalah alat yang digunakan untuk mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan induksi elektromagnetik[7].

Transformator adalah perangkat statis di mana belitan yang terdiri dari sirkuit magnetik dan dua atau lebih belitan mengubah daya (arus dan tegangan) dalam sistem AC ke sistem lain dari arus dan tegangan pada frekuensi yang sama dengan induksi elektromagnetik (dari IEC 60076 -1 2011). Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu Hukum Ampere dan Induksi Faraday. Perubahan arus atau medan listrik menciptakan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks menciptakan tegangan induksi[8], seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Elektromagnetik

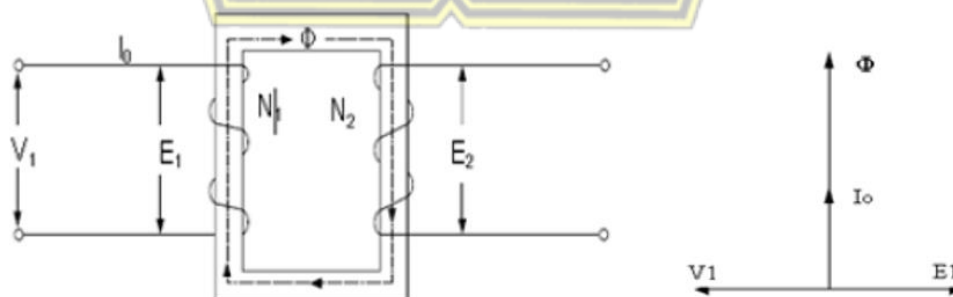
Arus bolak-balik yang mengalir melalui belitan primer menimbulkan fluks magnet melalui inti besi di antara kedua belitan, dan fluks magnet menginduksi belitan sekunder, sehingga terdapat beda potensial/tegangan induksi pada ujung belitan sekunder, dapat kita lihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Elektromagnetik Pada Trafo

2.2.2 Transformator Tanpa Beban

Apabila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 , terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Transformator Tanpa Beban

Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid, seperti pada persamaan (2.1).

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \dots\dots\dots(2.1)$$

Menurut Faraday, kumparan (XM) mempengaruhi fluks magnet yang berubah, sehingga menghasilkan gaya gerak listrik (e) di setiap ujung kumparan, berlawanan dengan tegangan sumber, yang dapat dirumuskan dengan persamaan (2.2).

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan adanya arus I_0 yang mengalir melalui belitan primer, pada belitan ini akan timbul gaya gerak listrik. Rumus gaya gerak listrik seperti pada persamaan (2.3) sampai (2.4)

$$-E_m \sin (90^\circ + \omega t) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

E_1 = GGL induksi

$$E_1 = EM_1 = N_1 \cdot 2 \cdot f \cdot \Phi M$$

= GGL primer maksimum

Besar tegangan dari GGL primer adalah :

$$(E_{\text{eff}})_1 = \frac{N_1 \cdot 2 \cdot F \cdot \Phi M}{\sqrt{2}} \\ = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi M \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Pada sisi sekunder, fluks magnetik (Φ) menghasilkan persamaan (2.5) sampai (2.7)

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau

$$e_2 = -E_m \sin (90^\circ + \omega t) \dots\dots\dots(2.6)$$

Harga efektifnya :

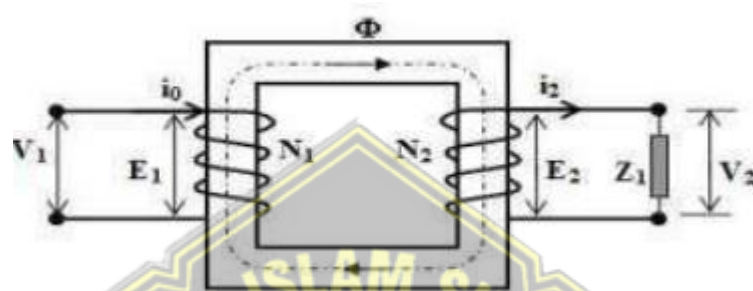
$$(E_{\text{eff}})_2 = \frac{N_2 \cdot 2 \cdot F \cdot \Phi M}{\sqrt{2}} \\ = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi M \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan demikian perbandingan transformasi antara belitan primer dan sekunder seperti pada persamaan (2.8).

$$\alpha = \frac{(E_{\text{eff}})_1}{(E_{\text{eff}})_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.2.3 Transformator Dengan Beban

Ketika beban Z_L dihubungkan ke belitan sekunder, arus beban I_2 mengalir pada belitan sekunder, dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dan θ_2 faktor kerja beban yang ada pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Transformator Berbeban

Fluks magnet (Φ) akibat arus I_M berlawanan dengan gaya gerak magnet (GGM) $N_2 I_2$ akibat arus I_2 . Agar fluks magnet tetap konstan dan tidak berubah, belitan primer harus membawa arus I_2 yang melawan fluks magnet. Jadi arus total yang mengalir pada belitan primer menjadi [9] seperti pada persamaan (2.9) dan (2.10).

$$I_1 = I_0 + I_2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Bila rugi besi tidak dianggap maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk menjaga agar arus tetap konstan dengan GGM yang dibangkitkan oleh arus I_M , diperoleh persamaan yang seperti pada persamaan (2.11) sampai (2.13).

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I_2) - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Sehingga :

$$N_1 I_2 = N_2 I_2 \quad (8.12)$$

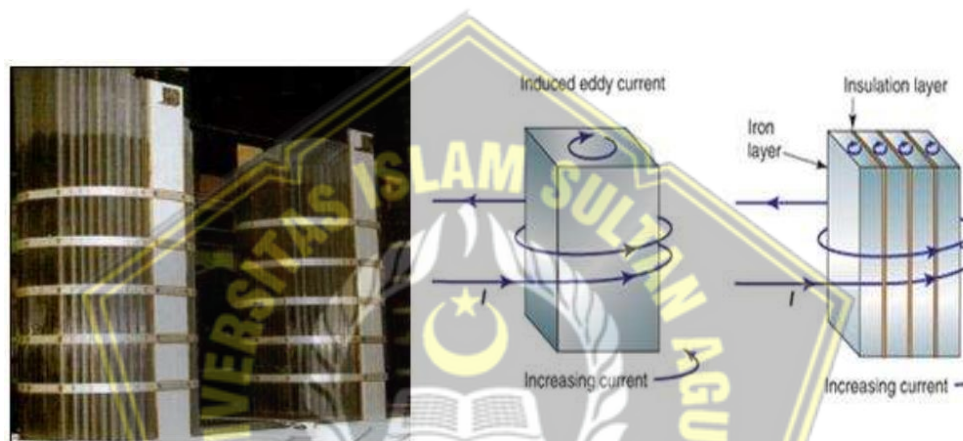
Karena nilai I_M dianggap kecil, maka $I_2 = I_1$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{\alpha} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.2.4 Bagian-bagian Transformator

1. Inti Besi

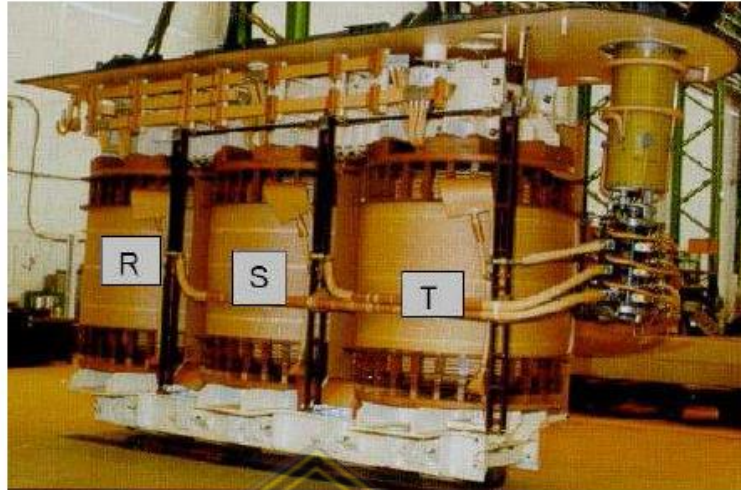
Inti besi digunakan untuk menciptakan fluks magnet yang dihasilkan oleh arus listrik pada belitan atau gulungan transformator, tetapi bahan ini terbuat dari lembaran baja tipis dan dikatakan dapat mengurangi panas yang disebabkan arus eddy[6], seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Inti Besi

2. *Current Carrying Circuit (Winding)*

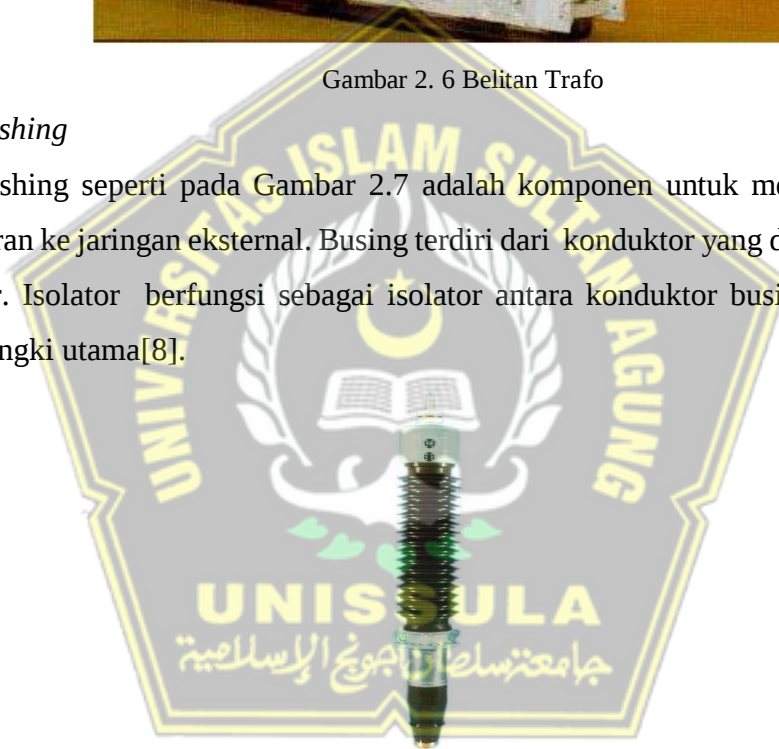
Gulungan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, ketika arus bolak-balik mengalir melalui belitan tembaga, inti besi akan terinduksi dan menyebabkan fluks magnet[8], yang dapat dilihat seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Belitan Trafo

3. *Bushing*

Bushing seperti pada Gambar 2.7 adalah komponen untuk menghubungkan kumparan ke jaringan eksternal. Busing terdiri dari konduktor yang dikelilingi oleh isolator. Isolator berfungsi sebagai isolator antara konduktor busing dan badan trafo tangki utama[8].



Gambar 2. 7 Bushing Transformator

Dibawah ini merupakan bagian-bagian utama yang terdapat pada bushing, antara lain:

a) Isolasi

Berdasarkan media isolasi, bushing dibagi menjadi dua (IEC 60137 2008) yaitu:

1. Bushing Kondenser

Busing kondensor biasanya digunakan pada tegangan busbar 72,5 kV atau lebih. Ada tiga jenis kedudukan insulasi untuk busbar kondensor (IEC 60137 2008) yaitu:

- Resin Bonded Paper (RBP)

Bushing tipe RBP adalah teknologi bushing kondensor pertama yang sudah jarang digunakan.

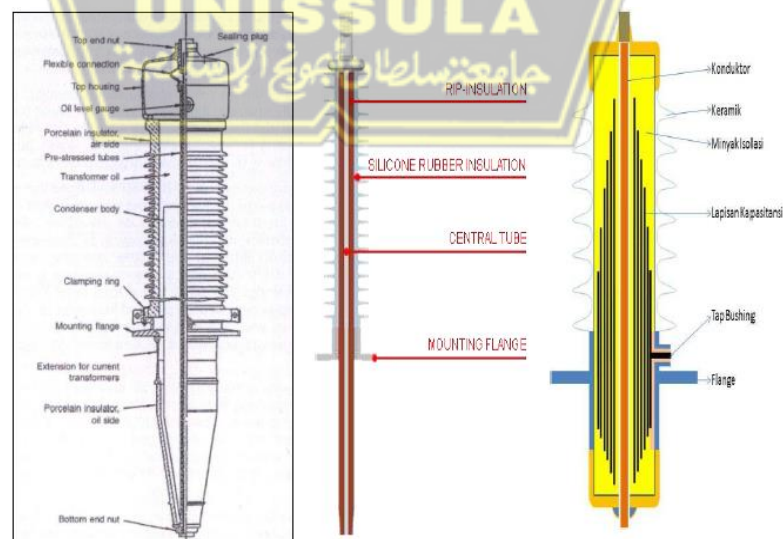
- Oil Impregnated Paper (OIP)

Tipe ini menggunakan kertas dan minyak yang merendam kertas isolasi

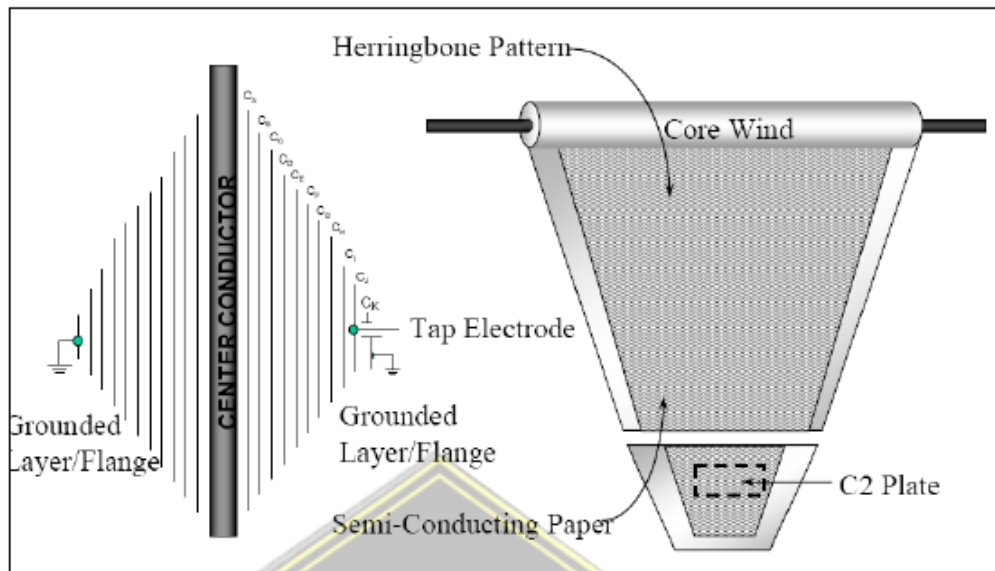
- Resin Impregnated Paper (RIP).

Tipe ini menggunakan kertas isolasi dan resin.

Di dalam jalur kondensor terdapat banyak lapisan kapasitif yang tersusun seri seperti pembagi tegangan. Pada bushing terdapat dua tenaga utama yang biasa disebut dengan C1 dan C2. C1 adalah kapasitansi antara konduktor dan soket terminal, dan C2 adalah kapasitansi soket pembumian (soket bergelang). Dalam kondisi operasi, nozel busbar terhubung ke bumi, sehingga C2 tidak berguna saat busbar beroperasi[8]. Bagian-bagian bushing dapat dilihat pada Gambar 2.8, Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.



Gambar 2. 8 Bagian-bagian Bushing



Gambar 2. 9 Kertas Isolasi Pada Bushing



Gambar 2. 10 Konduktor Bushing Yang dilapisi Kertas Isolasi

1. Bushing Non-Kondenser

Busing non-kondenser biasanya digunakan pada tegangan 72,5 kV atau kurang. Media isolasi utama untuk busing non-kondenser adalah isolator padat seperti porselen atau keramik.

b) Konduktor

Ada beberapa jenis konduktor pada busbar, yaitu konduktor hollow, di mana besi pengikat atau penegang di tengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan konduktor fleksibel.

c) Klem Koneksi

Klem koneksi merupakan pengikat antara stud bushing dan konduktor penghantar di luar bushing.

d) Asesoris

Asesoris bushing termasuk dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak di bagian bawah mounting flange.





Gambar 2. 11 Indikator Level Minyak Bushing



Gambar 2. 12 Gasket/Seal Antara Flange Bushing Dengan Body Trafo



Gambar 2. 13 Tap Pengujian

4. Pendingin

Temperatur transformator yang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan suplai, rugi-rugi transformator itu sendiri, dan temperatur lingkungan. Temperatur operasi yang tinggi akan merusak isolasi kertas trafo. Oleh karena itu, pendinginan yang efisien diperlukan.

Minyak isolasi trafo tidak hanya berfungsi sebagai media isolasi tetapi juga berfungsi sebagai pendingin. Selama sirkulasi minyak, panas dari kumparan akan diangkut oleh minyak melalui sirkulasinya dan akan didinginkan di sirip radiator yang dapat dilihat pada Gambar 2.14. Proses pendinginan dapat dibantu dengan adanya kipas dan pompa sirkulasi untuk meningkatkan efisiensi pendinginan[8]. Macam-macam pendingin pada transformator dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Macam-macam Pendingin Transformator

No	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Trafo		Di luar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paska	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paska
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			



Gambar 2. 14 Radiator

5. *Oil Preservation & Expansion* (Kondensator)

Ketika suhu operasi transformator meningkat, minyak isolasi memuai menyebabkan volumenya meningkat. Sebaliknya, saat temperatur operasi diturunkan, minyak akan menyusut dan volume minyak akan berkurang. Konservator digunakan untuk menahan minyak saat transformator mengalami peningkatan suhu[8]. Konservator seperti Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Konservator

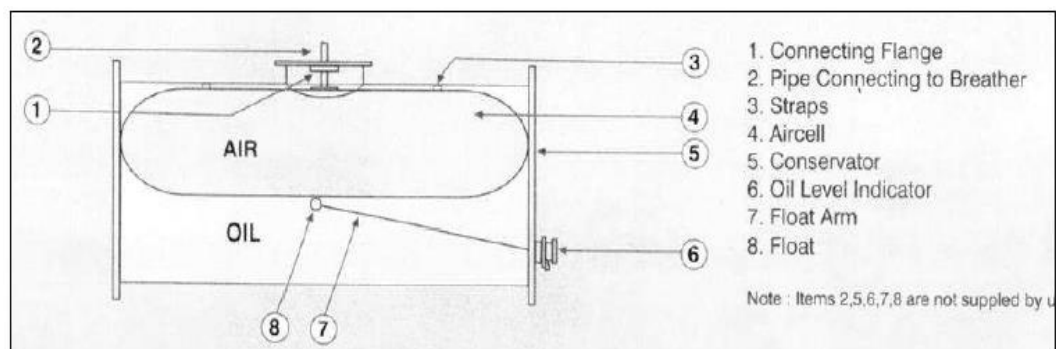
Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, maka volume udara di dalam konservator akan naik turun.

Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa rubber bag), udara yang akan masuk kedalam konservator akan disaring melalui silicagel untuk memperkecil kandungan uap air. Silica Gel dapat dilihat seperti Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2. 16 Silica Gel

Untuk mencegah agar minyak trafo tidak bersentuhan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator didesain dengan menggunakan breather bag/ rubber bag, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator. Kontruksi Konservator dengan Rubber Bag dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Kontruksi Konservator dengan Rubber Bag

Silicagel sendiri memiliki kemampuan yang terbatas untuk menyerap kandungan uap air sehingga pada waktu tertentu silicagel perlu dipanaskan bahkan dilakukan penggantian. Dehydrating Breather merupakan teknologi yang berfungsi untuk mempermudah pemeliharaan silicagel, dimana terjadi pemanasan otomatis ketika silicagel mencapai kejenuhan tertentu. Dehydrating Breather dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Dehydrating Breather

6. Minyak Isolasi dan Isolasi Kertas

a) Minyak Isolasi Transformator

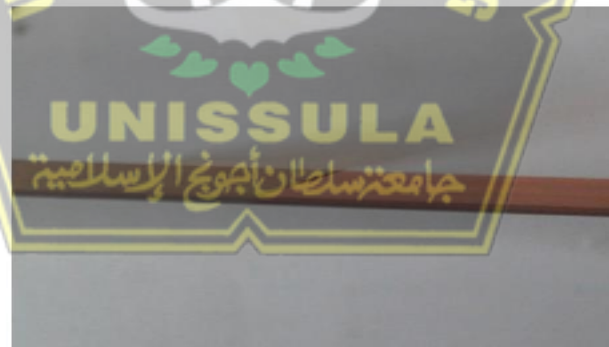
Minyak isolasi pada trafo berfungsi sebagai media penyekat, mendinginkan dan melindungi belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo adalah jenis minyak mineral yang secara umum dibagi menjadi tiga jenis, yaitu parafin, naftanik dan aromatik. Ketiga minyak dasar tersebut tidak boleh dicampur karena memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda[8]. Minyak Transformator dapat dilihat seperti Gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Minyak Transformator

b) Kertas Isolasi Transformator

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis. Tembaga yang dilapisi Kertas Isolasi dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2. 20 Tembaga yang dilapisi Kertas Isolasi

7. Tap Changer

Kestabilan tegangan pada jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Trafo harus memiliki nilai tegangan keluaran yang stabil sedangkan tegangan masukan tidak selalu sama. Dengan memvariasikan jumlah lilitan sehingga rasio antara gulungan primer dan sekunder dapat diubah, tegangan

output/sekunder dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem, terlepas dari tegangan input/primer. Penyesuaian rasio belitan ini disebut tap changer[8].

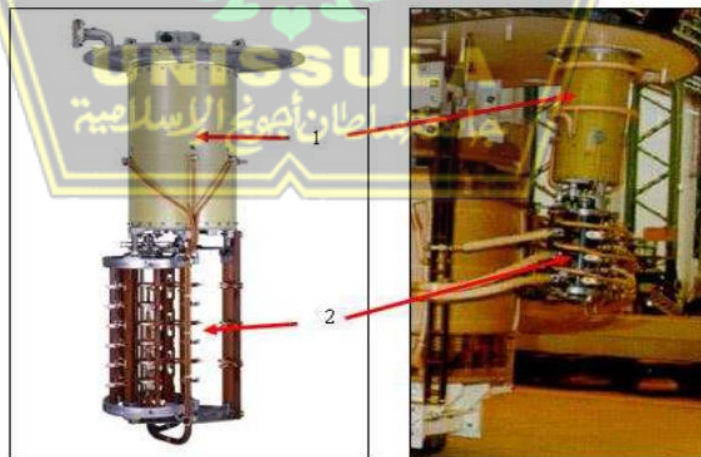
Proses perubahan rasio belitan dapat dilakukan pada saat trafo berbeban (on load tap changer) atau saat trafo tidak berbeban (off circuit tap changer /De Energize tap charger).

Tap changer terdiri dari:

- Selector Switch
- Diverter Switch
- Tahanan transisi

Karena operasi tap changer lebih dinamis daripada belitan utama dan intibesi, kompartemen antara belitan utama dan tap changer dipisahkan. Selektor switch adalah rangkaian mekanis yang mencakup terminal-terminal untuk menentukan posisi rasio kumparan primer[8].

Diverter switch adalah rangkaian mekanis yang dirancang untuk membuat atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer padasaat perubahan tap. OLTC pada Transformator dapat dilihat seperti Gambar 2.21.



Gambar 2. 21 OLTC pada Transformator

Keterangan:

1. Kompartemen Diverter Switch

2. Selektor Switch

Media pendingin pada diverter switch terdiri dari dua jenis, yaitu media minyak dan media vaccum. Jenis pemadaman dengan media minyak akan menghasilkan energi arcing yang membuat minyak terurai menjadi gas C_2H_2 dan karbon untuk itu perlu penggantian minyak pada periode tertentu. Sedangkan dengan metode pemadam vaccum proses pemadaman arcing pada waktu switching akan dilokalisir dan tidak merusak minyak. Kontak Switching pada Diverter Switch dapat kita lihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Kontak Switching pada Diverter Switch

- a. Media pemadaman arcing menggunakan minyak
- b. Media pemadaman arcing menggunakan kondisi vaccum

8. NGR (*Netral Grounding Resistor*)

NGR merupakan sebuah tahanan yang dirangkai serial dengan neutral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke ground/tanah. Tujuan dari pemasangan NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah[8]. Netral Grounding Resistor (NGR) dapat kita lihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Netral Grounding Resistor (NGR)

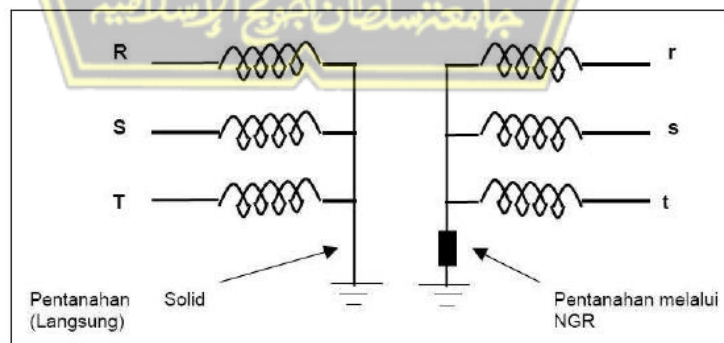
Terdapat dua jenis NGR, yaitu :

a) Liquid

Artinya resistor menggunakan larutan air murni yang di tampung dalam bejana dan garam (NaCl) yang ditambahkan untuk mencapai nilai resistansi yang diinginkan.

b) Solid

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari Stainless Steel, FeCrAl, Cast Iron, Copper Nickel atau Nichrome yang diatur sesuai nilai tahanannya. Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2. 24 Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR

9. Proteksi Transformator

a) Rele Bucholz

Ketika trafo mengalami gangguan internal yang mengakibatkan suhu yang sangat tinggi dan pergerakan mekanis di dalam trafo, maka tekanan aliran minyak yang signifikan dan pembentukan gelembung gas yang mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan rele bucholz[8].

Tekanan minyak maupun gelembung gas ini akan dideteksi oleh rele bucholz sebagai indikasi telah terjadinya gangguan internal. Rele Bucholz dapat dilihat pada Gambar 2.25 dibawah ini.



Gambar 2. 25 Rele Bucholz

b) Rele Jansen

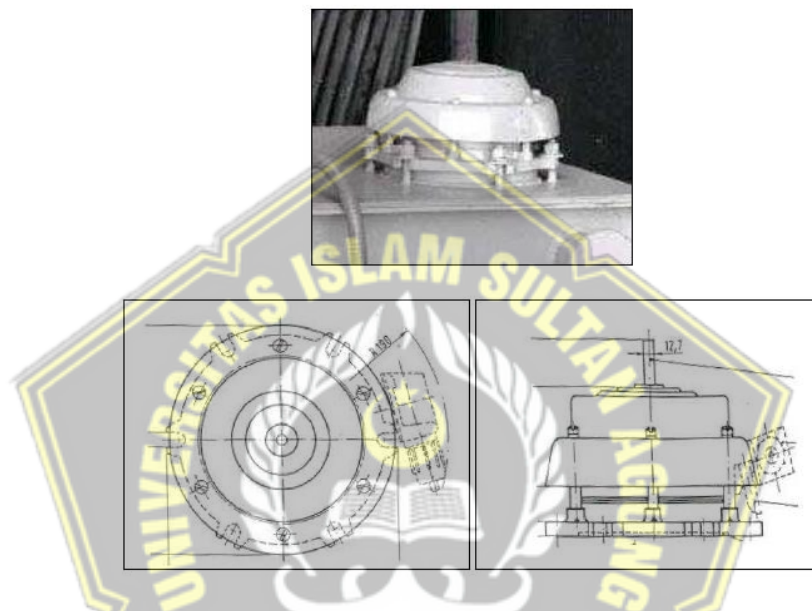
Hal ini sama dengan rele Bucholz yang menggunakan tekanan minyak dan gas yang terbentuk sebagai indikasi adanya gangguan/gangguan, hanya saja rele ini digunakan untuk melindungi kompartemen OLTC. Relai ini juga dipasang pada saluran yang menghubungkan kompartemen OLTC ke konservator. Rele Jansen dapat terlihat seperti Gambar 2.26.



Gambar 2. 26 Rele Jansen

c) Sudden Pressure

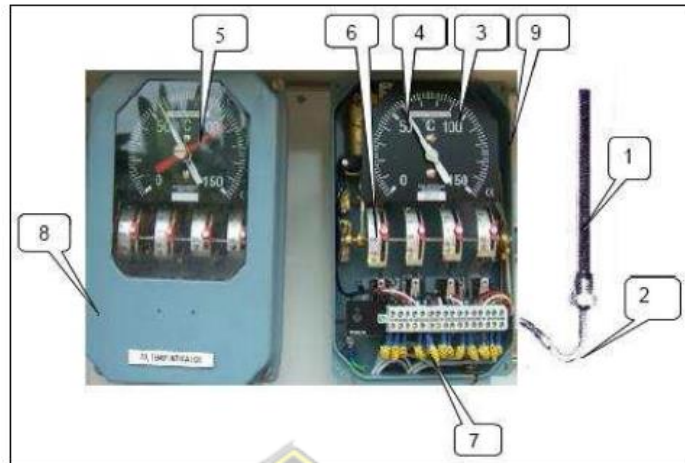
Rele sudden pressure seperti Gambar 2.27 ini dirancang untuk menjadi titik terlemah ketika tekanan pada trafo muncul akibat gangguan. Dengan memberikan titik terlemah maka tekanan akan tersalurkan melalui sudden pressure dan tidak akan merusak bagian lainnya pada maintank[8].



Gambar 2. 27 Rele Sudden Pressure

d) Rele Thermal

Temperatur operasi transformator akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan suplai, rugi-rugi pada transformator itu sendiri dan temperatur lingkungan. Temperatur operasi yang tinggi akan merusak isolasi kertas trafo. Untuk suhu operasi dan indikasi suhu operasi abnormal pada transformator , digunakan relai termal. Relai termal ini terdiri dari sensor suhu berupa termokopel, pipa kapiler dan indikator meter[8], seperti pada Gambar 2.28.



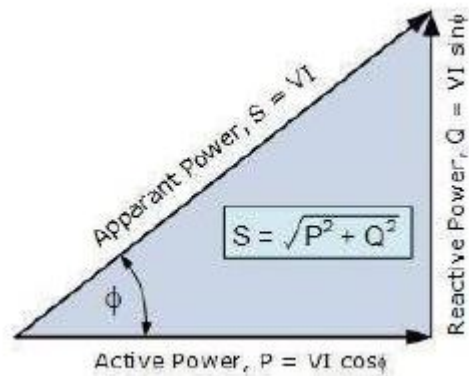
Gambar 2. 28 Bagian-bagian Rele Thermal

Keterangan :

- 1) Sensor suhu
- 2) Pipa kapiler
- 3) Skala meter
- 4) Jarum putih (penunjukan suhu setiap saat)
- 5) Jarum merah (penunjukan suhu max tercapai)
- 6) Piringan cakram
- 7) Terminasi kabel
- 8) Tutup thermometer
- 9) Packing/gasket

2.2.5 Daya Listrik

Pada listrik satu fasa hanya ada satu daya listrik yaitu daya nyata dalam watt. Namun dalam listrik tiga fasa mempunyai 3 daya listrik yaitu daya nyata, daya semu dan daya reaktif. Hubungan antara daya nyata, daya reaktif, dan daya semu dapat digambarkan dengan segitiga siku-siku, di mana sisi miring adalah daya semu, satu sisi siku adalah daya nyata, dan sisi lainnya adalah daya reaktif[9]. Dapat kita lihat segitiga daya pada Gambar 2.29.



Gambar 2. 29 Segitiga Daya

a) Daya Nyata

Daya aktif (P) adalah daya aktual yang dibutuhkan oleh beban listrik. Satuan daya aktif adalah Watt (W)[10]. Rumus daya nyata seperti pada persamaan (2.14).

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.14)$$

b) Daya Reaktif

Merupakan daya yang menyebabkan kerugian-kerugian daya atau daya yang menurunkan nilai $\cos \phi$ (faktor daya). Besar kecilnya daya reaktif tergantung dari banyaknya alat-alat listrik yang menghasilkan daya reaktif. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata (watt) dengan daya semu (VA). Persamaan daya reaktif pada persamaan (2.15).

$$Q = V \times I \sin \phi \dots\dots\dots (2.15)$$

Faktor daya selalu kurang dari atau sama dengan satu. Faktor daya yang rendah menyebabkan berbagai rugi-rugi daya karena arus beban yang tinggi.

c) Daya Semu

Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perhitungan listrik sebelum beban listrik diterapkan. Daya semu atau daya total (S) atau dalam bahasa Inggris daya semu adalah hasil dari perkalian tegangan efektif (V) dan arus efektif (I). Rumus daya semu dituliskan pada persamaan (2.16).

$$S = V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan :

P = daya nyata (watt)

Q = daya reaktif (var)

S = daya semu (va)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

Φ = beda sudut

2.2.6 Rugi-rugi Transformator

Rugi-rugi trafo dibagi menjadi dua jenis, antara lain rugi-rugi inti transformator dan rugi-rugi tembaga pada belitan primer dan sekunder. Kawat tembaga dengan luas penampang yang besar dapat mengurangi rugi-rugi tembaga sehingga dapat memperlancar aliran arus listrik pada trafo tanpa beban[9]. Persamaan untuk besarnya daya dapat dilihat seperti pada persamaan (2.17) sampai (2.18).

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi \dots\dots\dots(2.17)$$

Dari persamaan diatas didapat :

$$S = \sqrt{3} V I \dots\dots\dots(2.18)$$

Maka rumus cos phi dapat dituliskan seperti persamaan (2.19)

$$\cos \varphi = \frac{P (W)}{S (VA)} \dots\dots\dots(2.19)$$

Tujuan dari perancangan sistem kelistrikan adalah untuk meminimalkan berbagai rugi-rugi atau rugi-rugi daya, walaupun persentasenya tampak kecil, tetapi pada transformator yang lebih besar rugi-ruginya juga lebih tinggi[9]. Rugi-rugi transformator sebagai berikut :

a) Rugi-rugi Tembaga (P_{cu})

Rugi tembaga terjadi karena adanya arus listrik yang mengalir pada kawat tembaga, dituliskan dengan persamaan (2.20).

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots(2.20)$$

dengan :

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

I = Arus yang mengalir pada kawat tembaga (ampere)

R = Tahanan kawat tembaga (ohm)

Berubah-ubanya arus beban menyebabkan rugi-rugi tembaga yang berubah-ubah nilainya. Nilai rugi-rugi tembaga untuk setiap perubahan beban dapat dituliskan dengan persamaan (2.21).

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \dots \dots \dots (2.21)$$

dengan :

P_{t2} = Rugi-rugi saat pembebanan tertentu (kW)

P_{t1} = Rugi-rugi tembaga beban puncak (kW)

S_2 = Beban yang dioperasikan (kVA)

S_1 = Nilai pengenalan (kVA)

b) Rugi- rugi Besi (P_i)

Tidak seperti rugi-rugi tembaga, rugi-rugi inti besi selalu konstan dalam kondisi normal, terlepas dari nilai perubahan beban. Nilai rugi-rugi besi biasanya tertera pada papan nama masing-masing transformator daya.

c) Efisiensi Transformator

Pada trafo terdapat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga yang akan mempengaruhi efisiensi transformator. Nilai efisiensi keseluruhan (η), dituliskan pada persamaan (2.22).

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \dots \dots \dots (2.22)$$

dengan :

P_{out} = Daya keluaran

P_{in} = Daya masukan

Karena efisiensi transformator sangat tinggi, pengukuran efisiensi tidak pernah dilakukan secara langsung dengan mengukur daya input dan output. Bahkan jika pengukuran dilakukan dengan wattmeter dengan akurasi 1%, efisiensi lebih besar dari 100% masih dapat dicapai, jika efisiensi transformator adalah 99%. Oleh karena itu, pengukuran efisiensi transformator tidak pernah dilakukan di lapangan, tetapi selalu dilakukan di laboratorium atau pabrik dengan mengukur rugi-rugi transformator, dimana daya masukan adalah daya keluaran ditambah rugi-rugi[7].

Adapun rugi-rugi transformator terdiri dari beban nol yang merupakan rugi besi (P_i) dan rugi tembaga (P_{cu}) pada P_{out} . Dengan demikian efisiensi transformator dapat ditulis seperti pada persamaan (2.23) sampai (2.24).

$$\eta = \frac{P_{in} - (\text{rugi tembaga} + \text{rugi inti})}{P_{in}} 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{in} - \Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\%$$

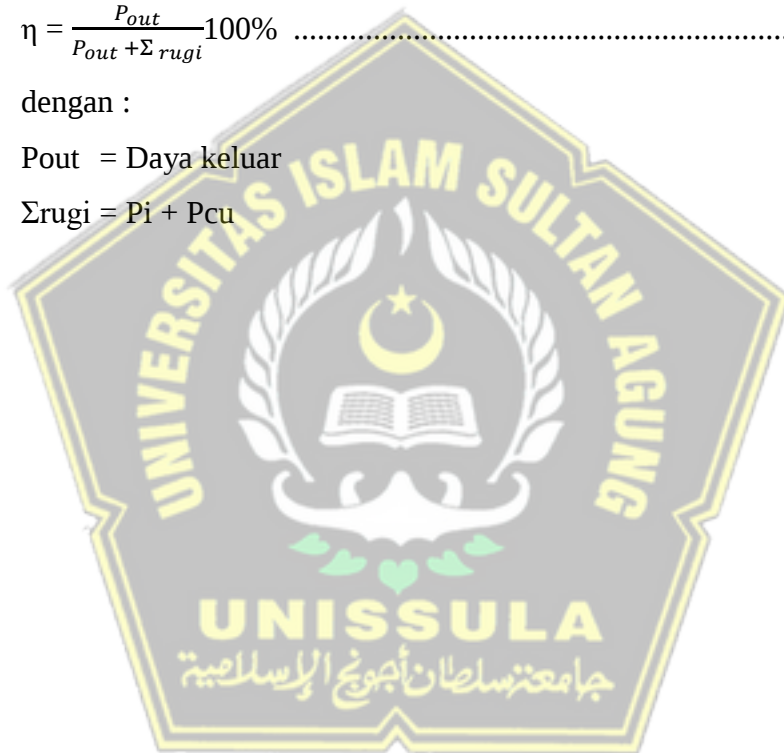
$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\% \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{rugi}} 100\% \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan :

P_{out} = Daya keluar

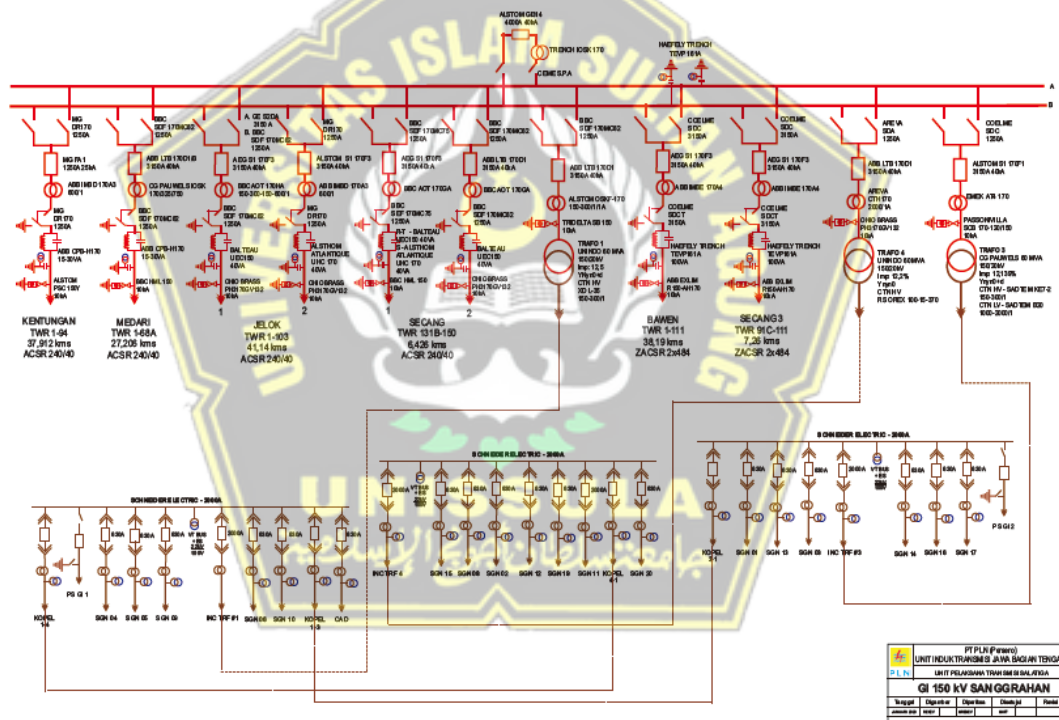
$\Sigma \text{rugi} = P_i + P_{cu}$



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Pada Tugas Akhir kali ini untuk menghitung efisiensi 3 unit transformator daya 60 MVA yang ada di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan yaitu transformator 1, transformator 3, dan transformator 4 menggunakan metode kuantitatif. Yang dimaksud dengan metode kuantitatif adalah metode yang datanya berupa angka-angka, pengolahannya berupa perhitungan, dan perhitungannya disajikan dalam bentuk tabel atau grafik.



Gambar 3. 1 Single Line Diagram Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada 3 unit transformator berkapasitas 60 MVA di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan mulai tanggal 1 sampai 31 bulan Agustus 2022. Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan beralamatkan di Jl. Urip Sumoharjo No.82 C, Wates, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 51253.



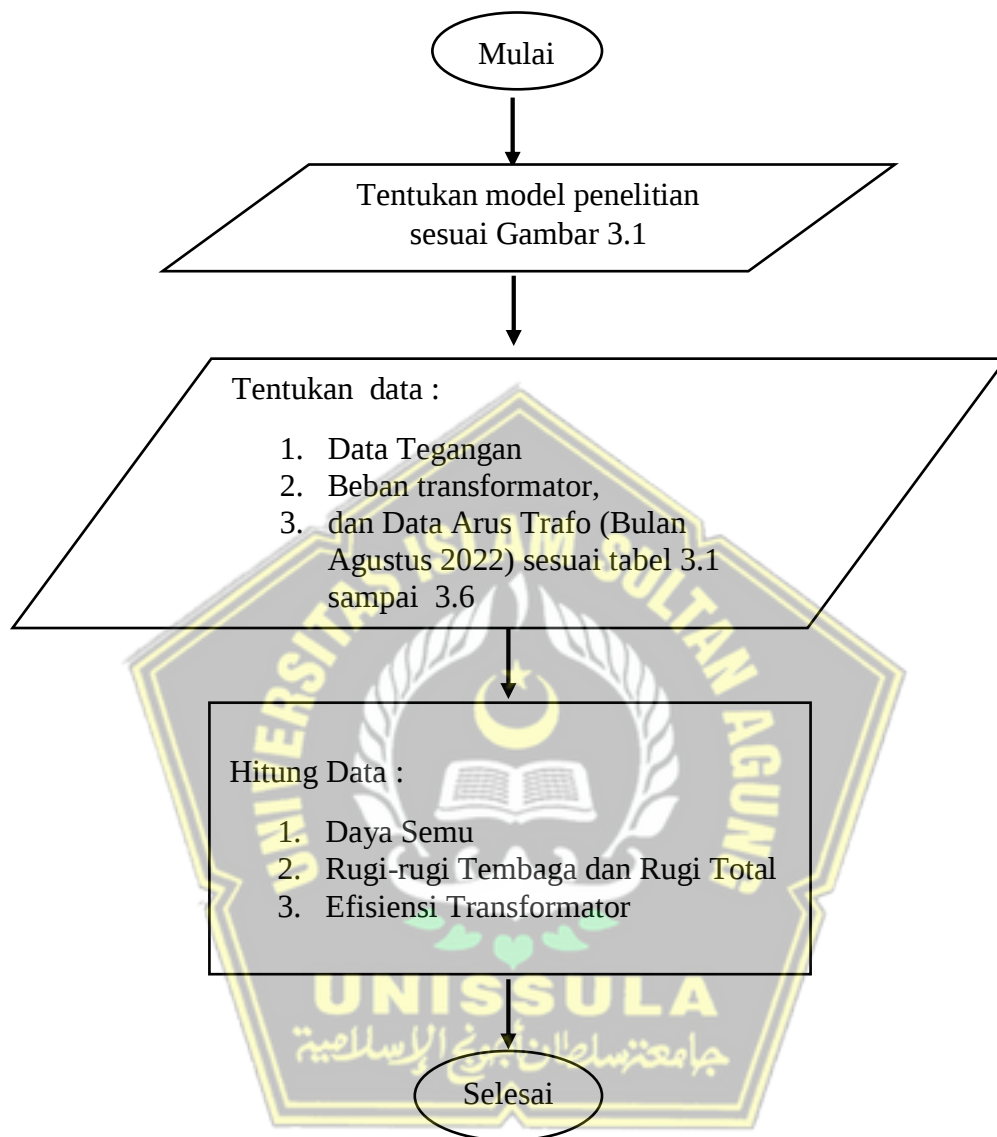
Gambar 3. 2 Lokasi Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan

3.3 Alat yang Digunakan

Untuk memudahkan dalam menyusun laporan dan perhitungan peneliti menggunakan laptop dengan *processor* Core i3 , RAM 4 gb *Windows* 10. Untuk *software* menggunakan bawaan dari *Microsoft* yaitu *Microsoft Word* dan *Microsoft Excel* 2016

3.4 Diagram Penelitian

Penulis membuat diagram alur penelitian yang menggambarkan hal-hal dalam melakukan penelitian, berikut diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.6.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menentukan model penelitian.
2. Mengambil data pada Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan berupa name plate, beban trafo, tegangan, dan arus transformator
3. Melakukan perhitungan beban terpakai dari data yang diperoleh
4. Melakukan perhitungan rugi tembaga dan rugi total
5. Melakukan perhitungan efisiensi transformator
6. Melakukan analisa pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator
7. Membuat kesimpulan

3.5 Data Yang Digunakan

3.5.1 Name plate transformator di Gardu Induk 150/20 kV Sanggrahan

Tabel 3. 1 Name Plate Transformator Unit 1

Merk	UNINDO
Tahun Pembuatan	2015
Daya Pengenal	40/60 MVA
Tegangan	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Pendingin	ONAN / ONAF

Tabel 3. 2 Name Plate Transformator Unit 3

Merk	PAUWELS TRAFO
Tahun Pembuatan	2016
Daya Pengenal	36/60 MVA
Tegangan	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Pendingin	ONAN / ONAF

Tabel 3. 3 Name Plate Transformator Unit 4

Merk	UNINDO
Tahun Pembuatan	2007
Daya Pengenal	40/60 MVA
Tegangan	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Pendingin	ONAN / ONAF

3.5.2 Data Beban Puncak Siang dan Malam

Tabel 3. 4 Beban Puncak Siang pada Transformator Unit 1

TGL	10:00 WIB								
	SISI 150 KV (231 A)					SISI 20 KV (1732 A)			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
01/08/2022	104	107	109	25,2	8	726	759	746	20,5
02/08/2022	100	103	104	24	8	704	716	719	20,5
03/08/2022	86	92	94	21,1	6,5	595	629	638	20,3
04/08/2022	146	153	149	24,7	11,3	1014	1058	1030	20,3
05/08/2022	102	100	102	26	8	752	751	793	20,6
06/08/2022	101	100	102	25	8	751	756	791	20,5
07/08/2022	93	97	99	23,4	6,3	660	687	696	20,3
08/08/2022	104	110	110	25	8	861	790	772	20,3
09/08/2022	110	113	112	24,5	7,8	891	780	772	20,3
10/08/2022	111	110	111	24	7,1	890	786	781	20,4
11/08/2022	112	110	110	25	8	856	800	780	20,4
12/08/2022	111	110	109	25	8	831	801	786	20,4
13/08/2022	106	111	111	25,9	8	733	766	760	20,3
14/08/2022	93	97	98	23	6	661	694	701	20,3
15/08/2022	104	108	107	25,9	7,9	749	779	779	20,2
16/08/2022	105	111	110	26,2	8,4	752	793	788	20,5
17/08/2022	83	88	88	22	6	608	641	641	20,5
18/08/2022	105	110	109	25,6	8	745	786	780	20,7
19/08/2022	105	108	109	25,6	7,8	747	768	770	20,3
20/08/2022	100	105	106	25	7	713	743	738	20,6
21/08/2022	119	126	130	32	4	762	731	771	20,4
22/08/2022	103	107	106	25,6	8,3	749	767	764	20,5
23/08/2022	105	107	106	25,4	8,2	755	750	748	20,5
24/08/2022	104	109	111	27,3	6,5	760	789	802	20,4
25/08/2022	108	111	111	26,1	8,4	745	771	764	20,5
26/08/2022	105	109	109	26	8	753	784	782	20,4
27/08/2022	108	111	110	25	7,8	734	755	751	20,4
28/08/2022	93	97	97	23,4	6	663	685	687	20,5
29/08/2022	101	104	104	25	7	723	743	745	20,2
30/08/2022	106	116	112	26,6	7,7	755	820	787	20,2
31/08/2022	107	110	111	25,8	7,8	757	774	782	20,4

Tabel 3. 5 Beban Puncak Malam pada Transformator Unit 1

TGL	19:00 WIB								
	SISI 150 KV (231 A)					SISI 20 KV (1732 A)			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
01/08/2022	127	125	132	32	5	875	905	912	20,6
02/08/2022	125	132	136	32	5	883	912	932	20,6
03/08/2022	125	132	137	32,8	4,8	876	882	947	20,5
04/08/2022	126	131	136	32,5	4,6	873	904	936	20,5
05/08/2022	124	130	135	32	4	871	905	940	20,7
06/08/2022	122	128	134	32,1	4,4	856	890	933	20,5
07/08/2022	121	127	132	31,7	4,2	861	904	934	20,6
08/08/2022	123	129	133	32	5	882	919	930	20,6
09/08/2022	109	107	104	32,5	4,4	876	918	947	20,3
10/08/2022	121	127	121	32	4	881	910	935	20,5
11/08/2022	123	131	136	32	4	880	925	955	20,5
12/08/2022	123	128	133	32,3	4,5	831	837	816	20,4
13/08/2022	118	125	131	31,4	4	860	898	937	20,4
14/08/2022	119	124	129	31	4	851	887	923	20,4
15/08/2022	121	124	130	31,8	4,2	860	877	930	20,3
16/08/2022	119	126	130	31,6	4,1	876	920	944	20,3
17/08/2022	112	118	123	30	4	800	844	823	20,5
18/08/2022	120	125	132	32	4,1	859	894	939	20,3
19/08/2022	121	127	132	32,1	4,4	872	910	950	20,6
20/08/2022	120	126	131	32	4	876	914	942	20,2
21/08/2022	121	125	131	31,5	3,1	850	880	918	20,3
22/08/2022	123	127	132	32,1	4,5	887	916	950	20,5
23/08/2022	122	128	133	32	4	880	912	948	20,6
24/08/2022	122	127	132	32,4	4,5	871	901	941	20,3
25/08/2022	119	124	129	31,7	4,3	847	883	919	20,4
26/08/2022	121	126	131	32	4	885	912	945	20,4
27/08/2022	120	126	132	31,3	4,1	881	918	931	20,4
28/08/2022	115	120	124	30,4	3,8	810	842	875	20,6
29/08/2022	115	123	129	31	4	853	880	917	20,6
30/08/2022	123	127	133	32,2	4,4	860	893	928	20,6
31/08/2022	125	129	134	32,4	4,4	862	895	930	20,4

Tabel 3. 6 Beban Puncak Siang pada Transformator Unit 3

TGL	10:00 WIB								
	SISI 150 KV (231 A)					SISI 20 KV (1732 A)			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
01/08/2022	114	119	112	26	12	809	816	815	20,6
02/08/2022	118	115	121	29	10	864	869	871	20,6
03/08/2022	111	114	108	25	11,5	764	778	758	20,7
04/08/2022	153	155	147	33	15,5	1037	1034	1052	20,6
05/08/2022	113	110	116	27	9	770	784	734	21
06/08/2022	91	94	88	21	8	771	786	781	20,5
07/08/2022	91	94	88	21	8	648	671	657	20,5
08/08/2022	112	114	107	26	9	762	779	782	20,8
09/08/2022	110	114	109	25,5	8	782	773	791	20,7
10/08/2022	111	113	108	26	9	781	771	784	20,6
11/08/2022	114	112	103	26	9	750	745	722	20,7
12/08/2022	114	111	104	26	9	651	746	721	20,6
13/08/2022	107	109	103	24	10	734	756	749	20,8
14/08/2022	89	86	92	22	7	635	647	640	20,6
15/08/2022	114	116	110	26	11,2	793	804	801	20,7
16/08/2022	115	117	111	26	11,6	817	824	826	20,7
17/08/2022	73	69	71	18	5	524	513	514	20,6
18/08/2022	116	117	111	26	11	825	824	827	20,5
19/08/2022	119	122	115	26	11	824	823	817	20,4
20/08/2022	108	104	108	25	9	741	754	752	20,7
21/08/2022	109	105	107	23,1	10	741	782	751	20,6
22/08/2022	117	119	103	26	11	740	791	762	20,7
23/08/2022	117	120	114	26,5	12	825	850	832	20,7
24/08/2022	113	115	108	26	10	777	803	788	20,9
25/08/2022	91	92	87	21	9,5	621	621	628	20,8
26/08/2022	119	114	120	28	9	799	821	818	20,8
27/08/2022	111	112	106	24	10	764	768	766	20,7
28/08/2022	90	91	86	21	8	638	640	631	20,7
29/08/2022	108	106	112	27	9	763	789	790	20,7
30/08/2022	88	88	84	20	8	624	625	622	20,7
31/08/2022	117	120	114	26	11	806	818	829	20,7

Tabel 3. 7 Beban Puncak Malam pada Trasnsformator Unit 3

TGL	19:00 WIB								
	SISI 150 KV (231 A)					SISI 20 KV (1732 A)			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
01/08/2022	118	121	125	28	8	844	862	837	20,7
02/08/2022	120	115	122	30	7	850	860	845	20,8
03/08/2022	120	123	116	29,5	8,5	849	861	839	20,8
04/08/2022	114	120	111	28	8	786	829	810	20,7
05/08/2022	119	114	121	29	6	832	843	823	20,9
06/08/2022	115	118	111	27,5	8	812	824	803	21
07/08/2022	112	114	107	26,5	7	787	800	778	20,8
08/08/2022	107	105	113	28	6	756	804	779	20,9
09/08/2022	118	121	113	28	8	840	856	830	20,5
10/08/2022	119	122	114	27	7	841	861	842	20,5
11/08/2022	120	113	123	30	6	835	849	830	21
12/08/2022	118	120	112	28	8	862	897	934	21
13/08/2022	115	117	109	27	7	803	823	793	20,7
14/08/2022	111	105	113	28	5	783	789	773	20,8
15/08/2022	118	120	111	28	8	825	873	821	20,8
16/08/2022	115	116	109	27,5	8	812	826	801	20,9
17/08/2022	98	92	98	24	4	700	691	683	20,6
18/08/2022	120	21	113	28	8	817	827	813	20,9
19/08/2022	121	123	115	28	8	838	847	828	20,9
20/08/2022	119	112	121	30	6	835	852	840	20,8
21/08/2022	117	120	111	27,5	9	804	811	791	20,6
22/08/2022	122	123	116	28	8	837	851	841	20,9
23/08/2022	119	114	121	29	6	826	835	819	20,9
24/08/2022	121	123	114	29,5	9	835	848	825	20,9
25/08/2022	122	123	118	28	8	837	843	833	21
26/08/2022	121	115	124	30	6	844	860	840	21
27/08/2022	120	113	121	30	7	816	827	811	20,7
28/08/2022	108	110	102	26	7	765	774	754	20,9
29/08/2022	115	111	116	29	6	813	828	810	20,9
30/08/2022	119	120	112	28	8	824	833	815	21
31/08/2022	117	118	112	28	8	834	846	823	20,9

Tabel 3. 8 Beban Puncak Siang pada Transformator Unit 4

TGL	10:00 WIB								
	SISI 150 KV (231 A)					SISI 20 KV (1732 A)			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
01/08/2022	105	104	102	24,2	6	732	724	720	20,3
02/08/2022	98	96	96	23	8	675	662	653	20,8
03/08/2022	135	134	133	30,5	12,7	933	915	917	20,4
04/08/2022	38	38	36	8,5	3,1	259	246	236	20,5
05/08/2022	103	101	100	24	8	708	695	690	20,8
06/08/2022	102	101	100	25	8	701	686	691	20,7
07/08/2022	83	82	80	19,6	6,7	587	579	568	20,6
08/08/2022	99	97	97	23	8	684	665	666	20,6
09/08/2022	98	96	96	22,5	7,9	691	672	669	20,7
10/08/2022	98	97	96	22	7	692	681	672	20,6
11/08/2022	100	107	107	24	8	700	705	712	20,6
12/08/2022	100	106	106	23	9	701	706	721	20,5
13/08/2022	103	99	110	23,4	9,3	721	693	701	20,6
14/08/2022	83	80	79	19,5	6	593	566	564	20,6
15/08/2022	105	102	102	24,5	9,3	743	721	722	20,3
16/08/2022	107	105	105	25,5	10	700	738	746	20,6
17/08/2022	68	65	64	16	4	495	470	414	20,5
18/08/2022	104	103	103	24,3	9,3	736	728	727	20,5
19/08/2022	101	99	99	23,4	8,8	714	696	699	20,6
20/08/2022	98	96	95	23	9	686	662	660	20,9
21/08/2022	99	100	96	23,1	8,5	607	651	642	20,7
22/08/2022	104	102	102	24,4	9,3	744	716	719	20,4
23/08/2022	104	102	101	24,6	9,4	702	688	694	20,3
24/08/2022	102	100	98	24,7	8,2	732	717	703	20,7
25/08/2022	133	133	132	31	12	917	913	904	20,7
26/08/2022	103	101	101	8,4	8	730	710	711	20,7
27/08/2022	108	104	103	23,3	9,1	711	676	675	20,6
28/08/2022	80	79	77	19,3	6,4	582	566	561	20,5
29/08/2022	98	97	97	23	7	589	702	681	20,4
30/08/2022	123	117	120	28,2	11,5	863	817	830	20,5
31/08/2022	102	99	99	23,5	9,2	723	697	699	20,6

Tabel 3. 9 Beban Puncak Malam pada Transformator Unit 4

TGL	19:00 WIB								
	SISI 150 KV (231 A)					SISI 20 KV (1732 A)			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
01/08/2022	111	109	110	25	5	791	774	741	20,7
02/08/2022	112	110	106	27	6	782	765	739	20,8
03/08/2022	106	103	100	25,2	6,3	742	724	701	20,9
04/08/2022	105	102	99	25	6,2	743	710	695	20,8
05/08/2022	104	103	99	25	5	743	721	701	20,6
06/08/2022	102	100	97	24,9	6,2	722	702	685	20,7
07/08/2022	96	94	90	23,1	5,3	690	670	644	20,6
08/08/2022	102	100	97	25	5	718	695	697	20,9
09/08/2022	124	130	135	26,3	6,7	774	749	731	20,6
10/08/2022	111	109	103	26	6	775	749	740	20,5
11/08/2022	111	109	105	26	6	777	754	734	20,7
12/08/2022	95	99	96	24,1	6	690	707	693	20,7
13/08/2022	101	98	92	24,1	5,7	720	696	657	20,7
14/08/2022	96	90	93	24,1	4	683	660	639	20,7
15/08/2022	105	103	100	24,1	6,5	761	741	721	20,6
16/08/2022	102	100	97	24,1	5,9	733	706	690	20,5
17/08/2022	88	85	82	24,1	3	627	598	576	20,9
18/08/2022	106	104	100	24,1	6,4	766	744	724	20,5
19/08/2022	102	99	100	24,1	6,3	731	707	695	20,8
20/08/2022	102	99	97	24,1	5	734	711	692	20,6
21/08/2022	98	95	92	24,1	5,5	690	668	648	20,6
22/08/2022	101	104	100	24,1	6,5	725	739	720	20,8
23/08/2022	111	108	105	24,1	5	782	763	740	20,8
24/08/2022	105	103	99	24,1	6,3	765	737	719	20,6
25/08/2022	108	105	102	24,1	6,9	781	754	737	20,7
26/08/2022	103	100	97	24,1	5	745	719	703	20,6
27/08/2022	101	100	96	24,1	5	747	727	704	20,8
28/08/2022	93	91	88	24,1	5,4	685	639	618	20,9
29/08/2022	103	101	98	24,1	5	720	701	686	20,4
30/08/2022	105	103	100	24,1	6,3	748	726	706	20,4
31/08/2022	103	100	97	24,1	6	739	716	697	20,6

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Rugi – rugi dan Efisiensi Trasformator sisi 20 Kv

Setelah dilakukan pengambilan data pada transformator unit 1, unit 3 dan unit 4 diperoleh data beban puncak siang dan beban puncak malam dari tanggal 1 Agustus 2022 sampai 31 Agustus 2022 seperti yang tertulis pada Tabel 3.1 sampai dengan Tabel 3.6, sehingga dapat diketahui beban (R,S,T) pada sisi 20 kV. Perhitungan daya semu (MVA) diperlukann untuk menghitung rugi tembaga pada setiap bebannya, untuk menghitung daya semu (MVA) menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan (2.16). Untuk mempermudah penulisan, perhitungan yang akan penulis tampilkan pada laporan Tugas Akhir ini adalah perhitungan dengan data beban puncak siang transformator pada 1 sisi 20 KV pada tabel 3.1 tanggal 1 Agustus 2022. Seterusnya perhitungan akan dilakukan menggunakan aplikasi pengolah data yaitu Microsoft Excel.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = 1,73 \times 20500 \times 759 \text{ (Arus tertinggi dari R,S,T)}$$

$$S = 26,92 \text{ MVA}$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai daya nyata (P) maka dapat dihitung dengan persamaan (2.14)

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 1,73 \times 20500 \times 759 \times 0,9 \text{ (Arus tertinggi dari R,S,T)}$$

$$P = 24,23 \text{ MW}$$

Untuk mendapatkan nilai $\cos \phi$ dapat dihitung dengan persamaan (2.19)

$$\cos \phi = \frac{P (W)}{S (VA)}$$

$$\cos \phi = \frac{24,23}{26,92}$$

$$\cos \phi = 0,9$$

4.1.2 Rugi Inti

Rugi inti merupakan rugi-rugi yang ditimbulkan oleh trafo pada saat tidak ada beban (tanpa beban). Dalam kondisi normal, rugi-rugi inti adalah sama (terlepas dari ukuran beban). Menurut SPLN 61:1997 tentang spesifikasi transformator daya tegangan tinggi, transformator memiliki kapasitas rugi inti sebesar 60 MVA atau rugi tembaga tanpa beban (P_i) sebesar 38 kW sedangkan rugi tembaga penuh (P_{t1}) sebesar 220 kW[11]

Setelah mengetahui nilai daya semu (MVA) maka rugi tembaga pada setiap beban puncak siang dan malam yang terjadi pada ketiga transformator dapat dihitung. Perhitungan rugi tembaga diperlukan untuk menghitung rugi total dan efisiensi transformator. Untuk menghitung rugi tembaga menggunakan rumus pada persamaan (2.21). Untuk mempermudah penulisan, perhitungan yang akan penulis tampilkan pada laporan Tugas Akhir ini adalah perhitungan dengan data beban puncak siang transformator pada 1 sisi 20 KV pada tabel 3.1 tanggal 1 Agustus 2022. Seterusnya perhitungan akan dilakukan menggunakan aplikasi pengolahan data yaitu Microsoft Excel.

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 \times P_{t1}$$

$$P_{t2} = \left(\frac{26920}{60000} \right)^2 \times 220$$

$$P_{t2} = 44,28 \text{ KW}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_i + P_{t2} \\ &= 38 + 44,28 \\ &= 82,28 \text{ KW} \end{aligned}$$

Dengan :

P_{t2} = Rugi-rugi saat pembebanan tertentu

P_{t1} = Rugi-rugi tembaga beban penuh

P_i = Rugi tembaga tanpa beban

Sehingga, efisiensi pada sisi 20 KV dapat diketahui menggunakan rumus pada persamaan (2.24)

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \Sigma \text{rugi}} 100\%$$

$$\eta = \frac{24,23}{24,23+82,28}100\%$$

$$\eta = 99,661 \%$$

Dengan rumus yang sama dapat dilakukan perhitungan nilai daya semu, rugi tembaga, rugi total dan efisiensi transformator pada sisi 20 kV menggunakan Microsoft Excel dari tanggal 1 sampai 31 Agustus 2022 dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.1.

4.1.3 Perhitungan Daya Semu

Setelah dilakukan pengambilan data pada transformator unit 1, unit 3 dan unit 4 diperoleh data beban puncak siang dan beban puncak malam dari tanggal 1 Agustus 2022 sampai 31 Agustus 2022 seperti yang tertulis pada Tabel 3.1 sampai dengan Tabel 3.6, sehingga dapat diketahui daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR) pada sisi 150 KV. Perhitungan daya semu diperlukan untuk menghitung rugi tembaga pada setiap bebannya, untuk menghitung daya semu menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan (2.16). Untuk mempermudah penulisan, perhitungan yang akan penulis tampilkan pada laporan Tugas Akhir ini adalah perhitungan dengan data beban puncak siang transformator pada 1 sisi 150 KV pada tabel 3.1 tanggal 1 Agustus 2022. Seterusnya perhitungan akan dilakukan menggunakan aplikasi pengolah data yaitu *Microsoft Excel*.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{25,2^2 + 8^2}$$

$$S = 26,44 \text{ MVA}$$

4.1.4 Rugi – rugi dan Efisiensi Transformator sisi 150 kV

Setelah mengetahui nilai daya semu (MVA) maka rugi tembaga pada setiap beban puncak siang dan malam yang terjadi pada ketiga transformator dapat dihitung. Perhitungan rugi tembaga diperlukan untuk menghitung rugi total dan efisiensi transformator. Untuk menghitung rugi tembaga menggunakan rumus pada persamaan (2.21). Untuk mempermudah penulisan, perhitungan yang akan penulis tampilkan pada laporan Tugas Akhir ini adalah perhitungan dengan data beban puncak siang transformator pada 1 sisi 150 KV pada tabel 3.1 tanggal 1 Agustus 2022. Seterusnya perhitungan akan dilakukan menggunakan aplikasi pengolah data yaitu *Microsoft Excel*.

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1}$$

$$P_{t2} = \left(\frac{26440}{60000}\right)^2 \times 220$$

$$P_{t2} = 42,72 \text{ KW}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_i + P_{t2} \\ &= 38 + 42,72 \\ &= 80,72 \text{ KW} \end{aligned}$$

Dengan :

P_{t2} = Rugi-rugi saat pembebanan tertentu

P_{t1} = Rugi-rugi tembaga beban puncak

P_i = Rugi tembaga tanpa beban

Sehingga, efisiensi pada sisi 150 KV dapat diketahui menggunakan rumus pada persamaan (2.23)

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\%$$

$$\eta = 1 - \frac{80,72}{25,2} 100\%$$

$$\eta = 99,679 \%$$

Dengan rumus yang sama dapat dilakukan perhitungan nilai daya semu, rugi tembaga, rugi total dan efisiensi transformator pada sisi 150 kV menggunakan *Microsoft Excel* dari tanggal 1 sampai 31 Agustus 2022 dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.2.

4.1.5 Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan *Microsoft Excel* diperoleh rugi – rugi dan efisiensi transformator 1, 3, dan 4 pada saat beban puncak siang dan malam. Data hasil perhitungan dapat dilihat dari tabel 4.1 sampai 4.6.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Pada Transformator 1 Sisi 20 kV

TGL	10:00 WIB					19:00 WIB					10.00	19.00
	SISI 20 KV										WIB	WIB
	MW	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	MW	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	Cos phi	Cos phi
1	24,23	26,92	44,28	82,28	99,66152	29,25	32,50	64,56	102,56	99,65063	0,9	0,9
2	22,95	25,50	39,74	77,74	99,66242	29,89	33,21	67,42	105,42	99,64859	0,9	0,9
3	20,17	22,41	30,68	68,68	99,66057	30,23	33,59	68,93	106,93	99,64748	0,9	0,9
4	33,44	37,16	84,37	122,37	99,63541	29,88	33,20	67,34	105,34	99,64865	0,9	0,9
5	25,43	28,26	48,81	86,81	99,65986	30,30	33,66	69,25	107,25	99,64725	0,9	0,9
6	25,25	28,05	48,09	86,09	99,66017	29,78	33,09	66,91	104,91	99,64896	0,9	0,9
7	22,00	24,44	36,51	74,51	99,66243	29,96	33,29	67,71	105,71	99,64838	0,9	0,9
8	27,21	30,24	55,87	93,87	99,65623	29,83	33,14	67,13	105,13	99,64880	0,9	0,9
9	28,16	31,29	59,84	97,84	99,65380	29,93	33,26	67,59	105,59	99,64846	0,9	0,9
10	28,27	31,41	60,29	98,29	99,65350	29,84	33,16	67,20	105,20	99,64875	0,9	0,9
11	27,19	30,21	55,77	93,77	99,65629	30,48	33,87	70,10	108,10	99,64661	0,9	0,9
12	26,39	29,33	52,56	90,56	99,65807	26,59	29,54	53,32	91,32	99,65766	0,9	0,9
13	24,21	26,90	44,22	82,22	99,66153	29,76	33,07	66,83	104,83	99,64902	0,9	0,9
14	22,16	24,62	37,04	75,04	99,66247	29,32	32,57	64,84	102,84	99,65042	0,9	0,9
15	24,50	27,22	45,29	83,29	99,66121	29,39	32,66	65,19	103,19	99,65018	0,9	0,9
16	25,31	28,12	48,34	86,34	99,66007	29,84	33,15	67,17	105,17	99,64877	0,9	0,9
17	20,46	22,73	31,58	69,58	99,66106	26,94	29,93	54,75	92,75	99,65688	0,9	0,9
18	25,33	28,15	48,42	86,42	99,66003	29,68	32,98	66,46	104,46	99,64928	0,9	0,9
19	24,34	27,04	44,69	82,69	99,66140	30,47	33,86	70,05	108,05	99,64666	0,9	0,9
20	23,83	26,48	42,85	80,85	99,66190	29,63	32,92	66,22	104,22	99,64945	0,9	0,9
21	24,49	27,21	45,25	83,25	99,66122	29,02	32,24	63,52	101,52	99,65135	0,9	0,9
22	24,48	27,20	45,22	83,22	99,66123	30,32	33,69	69,37	107,37	99,64716	0,9	0,9
23	24,10	26,78	43,81	81,81	99,66165	30,41	33,78	69,75	107,75	99,64687	0,9	0,9
24	25,47	28,30	48,96	86,96	99,65980	29,74	33,05	66,74	104,74	99,64908	0,9	0,9
25	24,61	27,34	45,69	83,69	99,66107	29,19	32,43	64,28	102,28	99,65082	0,9	0,9
26	24,90	27,67	46,78	84,78	99,66068	30,02	33,35	67,97	105,97	99,64819	0,9	0,9
27	23,98	26,65	43,39	81,39	99,66176	29,57	32,86	65,97	103,97	99,64963	0,9	0,9
28	21,93	24,36	36,28	74,28	99,66241	28,06	31,18	59,42	97,42	99,65406	0,9	0,9
29	23,43	26,03	41,42	79,42	99,66219	29,41	32,68	65,27	103,27	99,65013	0,9	0,9
30	25,79	28,66	50,18	88,18	99,65925	29,76	33,07	66,84	104,84	99,64901	0,9	0,9
31	24,84	27,60	46,55	84,55	99,66077	29,54	32,82	65,83	103,83	99,64973	0,9	0,9

Berdasarkan tabel 4.1 diperoleh rata- rata efisiensi transformator 1 sisi 20 KV yaitu 99,65%,maka nilai efisiensi pada transformator 1 sisi 20 KV sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Pada Transformator 1 Sisi 150 kV

TGL	10,00 WIB				19,00 WIB			
	SISI 150 KV							
	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)
1	26,44	42,72	80,72	99,67969	32,39	64,11	102,11	99,68092
2	25,30	39,11	77,11	99,67870	32,39	64,11	102,11	99,68092
3	22,08	29,79	67,79	99,67872	33,15	67,15	105,15	99,67941
4	27,16	45,09	83,09	99,66362	32,82	65,84	103,84	99,68049
5	27,20	45,22	83,22	99,67991	32,25	63,56	101,56	99,68264
6	26,25	42,11	80,11	99,67958	32,40	64,15	102,15	99,68177
7	24,23	35,89	73,89	99,68424	31,98	62,49	100,49	99,68300
8	26,25	42,11	80,11	99,67958	32,39	64,11	102,11	99,68092
9	25,71	40,40	78,40	99,68000	32,80	65,73	103,73	99,68083
10	25,03	38,28	76,28	99,68216	32,25	63,56	101,56	99,68264
11	26,25	42,11	80,11	99,67958	32,25	63,56	101,56	99,68264
12	26,25	42,11	80,11	99,67958	32,61	64,99	102,99	99,68113
13	27,11	44,91	82,91	99,67990	31,65	61,23	99,23	99,68398
14	23,77	34,53	72,53	99,68466	31,26	59,71	97,71	99,68482
15	27,08	44,81	82,81	99,68028	32,08	62,88	100,88	99,68278
16	27,51	46,26	84,26	99,678	31,86	62,05	100,05	99,68338
17	22,80	31,78	69,78	99,683	30,27	55,98	93,98	99,68674
18	26,82	43,96	81,96	99,680	32,26	63,61	101,61	99,68248
19	26,76	43,77	81,77	99,681	32,40	64,15	102,15	99,68177
20	25,96	41,19	79,19	99,683	32,25	63,56	101,56	99,68264
21	32,25	63,56	101,56	99,683	31,65	61,22	99,22	99,68500
22	26,91	44,26	82,26	99,679	32,41	64,21	102,21	99,68160
23	26,69	43,54	81,54	99,679	32,25	63,56	101,56	99,68264
24	28,06	48,13	86,13	99,685	32,71	65,39	103,39	99,68090
25	27,42	45,94	83,94	99,678	31,99	62,54	100,54	99,68284
26	27,20	45,22	83,22	99,680	32,25	63,56	101,56	99,68264
27	26,19	41,91	79,91	99,680	31,57	60,90	98,90	99,68403
28	24,16	35,66	73,66	99,685	30,64	57,36	95,36	99,68632
29	25,96	41,19	79,19	99,683	31,26	59,71	97,71	99,68482
30	27,69	46,86	84,86	99,681	32,50	64,55	102,55	99,68154
31	26,95	44,40	82,40	99,681	32,70	65,34	103,34	99,68106

Berdasarkan tabel 4.2 diperoleh rata- rata efisiensi transformator 1 sisi 150 KV yaitu 99,68%,maka nilai efisiensi pada transformator 1 sisi 150 KV sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Pada Transformator 3 Sisi 20 kV

TGL	10:00 WIB					19:00 WIB					10.00	19.00
	SISI 20 KV										WIB	WIB
	MW	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	MW	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	Cos phi	Cos phi
1	26,17	29,08	51,68	89,68	99,65852	27,78	30,87	58,23	96,23	99,65481	0,9	0,9
2	27,94	31,04	58,88	96,88	99,65441	27,85	30,95	58,52	96,52	99,65463	0,9	0,9
3	25,07	27,86	47,44	85,44	99,66043	27,88	30,98	58,66	96,66	99,65455	0,9	0,9
4	33,74	37,49	85,90	123,90	99,63415	26,72	29,69	53,86	91,86	99,65737	0,9	0,9
5	25,63	28,48	49,58	87,58	99,65952	27,43	30,48	56,78	94,78	99,65570	0,9	0,9
6	25,09	27,88	47,49	85,49	99,66041	26,94	29,94	54,77	92,77	99,65687	0,9	0,9
7	21,42	23,80	34,61	72,61	99,66213	25,91	28,79	50,64	88,64	99,65903	0,9	0,9
8	25,33	28,14	48,39	86,39	99,66004	26,16	29,07	51,64	89,64	99,65854	0,9	0,9
9	25,49	28,33	49,03	87,03	99,65977	27,32	30,36	56,32	94,32	99,65597	0,9	0,9
10	25,15	27,94	47,71	85,71	99,66032	27,48	30,54	56,98	94,98	99,65558	0,9	0,9
11	24,17	26,86	44,08	82,08	99,66157	27,76	30,84	58,14	96,14	99,65487	0,9	0,9
12	23,93	26,59	43,19	81,19	99,66181	30,54	33,93	70,36	108,36	99,64642	0,9	0,9
13	24,48	27,20	45,23	83,23	99,66123	26,53	29,47	53,08	91,08	99,65779	0,9	0,9
14	20,75	23,06	32,49	70,49	99,66147	25,55	28,39	49,26	87,26	99,65967	0,9	0,9
15	25,91	28,79	50,66	88,66	99,65902	28,27	31,41	60,31	98,31	99,65349	0,9	0,9
16	26,62	29,58	53,47	91,47	99,65759	26,88	29,87	54,51	92,51	99,65702	0,9	0,9
17	16,81	18,67	21,31	59,31	99,64834	22,45	24,95	38,03	76,03	99,66250	0,9	0,9
18	26,40	29,33	52,57	90,57	99,65806	26,91	29,90	54,64	92,64	99,65694	0,9	0,9
19	26,17	29,08	51,68	89,68	99,65852	27,56	30,62	57,32	95,32	99,65538	0,9	0,9
20	24,30	27,00	44,55	82,55	99,66144	27,59	30,66	57,44	95,44	99,65530	0,9	0,9
21	25,08	27,87	47,46	85,46	99,66042	26,01	28,90	51,05	89,05	99,65883	0,9	0,9
22	25,49	28,33	49,03	87,03	99,65977	27,69	30,77	57,86	95,86	99,65504	0,9	0,9
23	27,40	30,44	56,62	94,62	99,65579	27,17	30,19	55,70	93,70	99,65633	0,9	0,9
24	26,13	29,03	51,52	89,52	99,65860	27,60	30,66	57,45	95,45	99,65529	0,9	0,9
25	20,34	22,60	31,21	69,21	99,66087	27,56	30,63	57,32	95,32	99,65537	0,9	0,9
26	26,59	29,54	53,34	91,34	99,65766	28,12	31,24	59,66	97,66	99,65391	0,9	0,9
27	24,75	27,50	46,22	84,22	99,66089	26,65	29,62	53,60	91,60	99,65752	0,9	0,9
28	20,63	22,92	32,10	70,10	99,66130	25,19	27,99	47,86	85,86	99,66026	0,9	0,9
29	25,46	28,29	48,91	86,91	99,65982	26,94	29,94	54,77	92,77	99,65687	0,9	0,9
30	20,14	22,38	30,61	68,61	99,66054	27,24	30,26	55,97	93,97	99,65618	0,9	0,9
31	26,72	29,69	53,86	91,86	99,65737	27,53	30,59	57,18	95,18	99,65546	0,9	0,9

Berdasarkan tabel 4.3 diperoleh rata- rata efisiensi transformator 1 sisi 20 KV yaitu 99,65%,maka nilai efisiensi pada transformator 3 sisi 20 KV sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Pada Transformator 3 Sisi 150 kV

TGL	10,00 WIB				19,00 WIB			
	SISI 150 KV							
	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)
1	28,64	50,11	88,11	99,66111	29,12	51,82	89,82	99,67921
2	30,68	57,51	95,51	99,67067	30,81	57,99	95,99	99,68002
3	27,52	46,28	84,28	99,66289	30,70	57,60	95,60	99,67594
4	36,46	81,23	119,23	99,63869	29,12	51,82	89,82	99,67921
5	28,46	49,50	87,50	99,67593	29,61	53,59	91,59	99,68416
6	22,47	30,86	68,86	99,67209	28,64	50,13	88,13	99,67954
7	22,47	30,86	68,86	99,67209	27,41	45,91	83,91	99,68336
8	27,51	46,26	84,26	99,67592	28,64	50,11	88,11	99,68532
9	26,73	43,65	81,65	99,67981	29,12	51,82	89,82	99,67921
10	27,51	46,26	84,26	99,67592	27,89	47,54	85,54	99,68317
11	27,51	46,26	84,26	99,67592	30,59	57,20	95,20	99,68267
12	27,51	46,26	84,26	99,67592	29,12	51,82	89,82	99,67921
13	26,00	41,31	79,31	99,66954	27,89	47,54	85,54	99,68317
14	23,09	32,57	70,57	99,67922	28,44	49,44	87,44	99,68772
15	28,31	48,98	86,98	99,66547	29,12	51,82	89,82	99,67921
16	28,47	49,53	87,53	99,663	28,64	50,13	88,13	99,67954
17	18,68	21,33	59,33	99,670	24,33	36,18	74,18	99,69093
18	28,23	48,71	86,71	99,667	29,12	51,82	89,82	99,67921
19	28,23	48,71	86,71	99,667	29,12	51,82	89,82	99,67921
20	26,57	43,14	81,14	99,675	30,59	57,20	95,20	99,68267
21	25,17	38,72	76,72	99,668	28,94	51,17	89,17	99,67576
22	28,23	48,71	86,71	99,667	29,12	51,82	89,82	99,67921
23	29,09	51,72	89,72	99,661	29,61	53,59	91,59	99,68416
24	27,86	47,42	85,42	99,671	30,84	58,13	96,13	99,67413
25	23,05	32,47	70,47	99,664	29,12	51,82	89,82	99,67921
26	29,41	52,86	90,86	99,675	30,59	57,20	95,20	99,68267
27	26,00	41,31	79,31	99,670	30,81	57,99	95,99	99,68002
28	22,47	30,86	68,86	99,672	26,93	44,31	82,31	99,68344
29	28,46	49,50	87,50	99,676	29,61	53,59	91,59	99,68416
30	21,54	28,36	66,36	99,668	29,12	51,82	89,82	99,67921
31	28,23	48,71	86,71	99,667	29,12	51,82	89,82	99,67921

Berdasarkan tabel 4.4 diperoleh rata- rata efisiensi transformator 3 sisi 150 KV yaitu 99,67%,maka nilai efisiensi pada transformator 3 sisi 150 KV sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Pada Transformator 4 Sisi 120 kV

TGL	10:00 WIB					19:00 WIB					10.00	19.00
	SISI 20 KV										WIB	WIB
	MW	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)	MW	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI I (%)	Cos phi	Cos phi
1	23,14	25,71	40,39	78,39	99,66235	25,49	28,33	49,03	87,03	99,65977	0,9	0,9
2	21,86	24,29	36,05	74,05	99,66239	25,33	28,14	48,39	86,39	99,66004	0,9	0,9
3	29,63	32,93	66,26	104,26	99,64942	24,15	26,83	43,99	81,99	99,66160	0,9	0,9
4	8,27	9,19	5,16	43,16	99,48068	24,06	26,74	43,68	81,68	99,66168	0,9	0,9
5	22,93	25,48	39,66	77,66	99,66242	23,83	26,48	42,85	80,85	99,66190	0,9	0,9
6	22,59	25,10	38,51	76,51	99,66249	23,27	25,86	40,85	78,85	99,66228	0,9	0,9
7	18,83	20,92	26,74	64,74	99,65730	22,13	24,59	36,95	74,95	99,66247	0,9	0,9
8	21,94	24,38	36,31	74,31	99,66242	23,36	25,96	41,19	79,19	99,66223	0,9	0,9
9	22,27	24,75	37,42	75,42	99,66249	24,83	27,58	46,50	84,50	99,66079	0,9	0,9
10	22,20	24,66	37,17	75,17	99,66248	24,74	27,49	46,17	84,17	99,66091	0,9	0,9
11	22,84	25,37	39,35	77,35	99,66245	25,04	27,83	47,31	85,31	99,66048	0,9	0,9
12	23,01	25,57	39,96	77,96	99,66240	22,79	25,32	39,17	77,17	99,66246	0,9	0,9
13	23,13	25,69	40,35	78,35	99,66235	23,21	25,78	40,63	78,63	99,66231	0,9	0,9
14	19,02	21,13	27,29	65,29	99,65789	22,01	24,46	36,56	74,56	99,66244	0,9	0,9
15	23,48	26,09	41,61	79,61	99,66216	24,41	27,12	44,95	82,95	99,66132	0,9	0,9
16	23,93	26,59	43,19	81,19	99,66181	23,40	26,00	41,30	79,30	99,66221	0,9	0,9
17	15,80	17,56	18,83	56,83	99,64158	20,40	22,67	31,41	69,41	99,66097	0,9	0,9
18	23,49	26,10	41,64	79,64	99,66215	24,45	27,17	45,10	83,10	99,66127	0,9	0,9
19	22,90	25,45	39,57	77,57	99,66243	23,67	26,30	42,28	80,28	99,66202	0,9	0,9
20	22,32	24,80	37,60	75,60	99,66250	23,54	26,16	41,82	79,82	99,66212	0,9	0,9
21	20,98	23,31	33,21	71,21	99,66174	22,13	24,59	36,95	74,95	99,66247	0,9	0,9
22	23,63	26,26	42,13	80,13	99,66205	23,93	26,59	43,21	81,21	99,66181	0,9	0,9
23	22,19	24,65	37,14	75,14	99,66248	25,33	28,14	48,39	86,39	99,66004	0,9	0,9
24	23,59	26,21	41,99	79,99	99,66208	24,54	27,26	45,42	83,42	99,66116	0,9	0,9
25	29,55	32,84	65,90	103,90	99,64968	25,17	27,97	47,80	85,80	99,66029	0,9	0,9
26	23,53	26,14	41,76	79,76	99,66213	23,90	26,55	43,08	81,08	99,66184	0,9	0,9
27	22,80	25,34	39,24	77,24	99,66246	24,19	26,88	44,16	82,16	99,66155	0,9	0,9
28	18,58	20,64	26,04	64,04	99,65647	22,29	24,77	37,49	75,49	99,66249	0,9	0,9
29	22,30	24,77	37,51	75,51	99,66249	22,87	25,41	39,46	77,46	99,66244	0,9	0,9
30	27,55	30,61	57,25	95,25	99,65542	23,76	26,40	42,59	80,59	99,66196	0,9	0,9
31	23,19	25,77	40,57	78,57	99,66232	23,70	26,34	42,39	80,39	99,66200	0,9	0,9

Berdasarkan tabel 4.5 diperoleh rata- rata efisiensi transformator 1 sisi 20 KV yaitu 99,65%, maka nilai efisiensi pada transformator 4 sisi 20 KV sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Pada Transformator 4 Sisi 20 kV

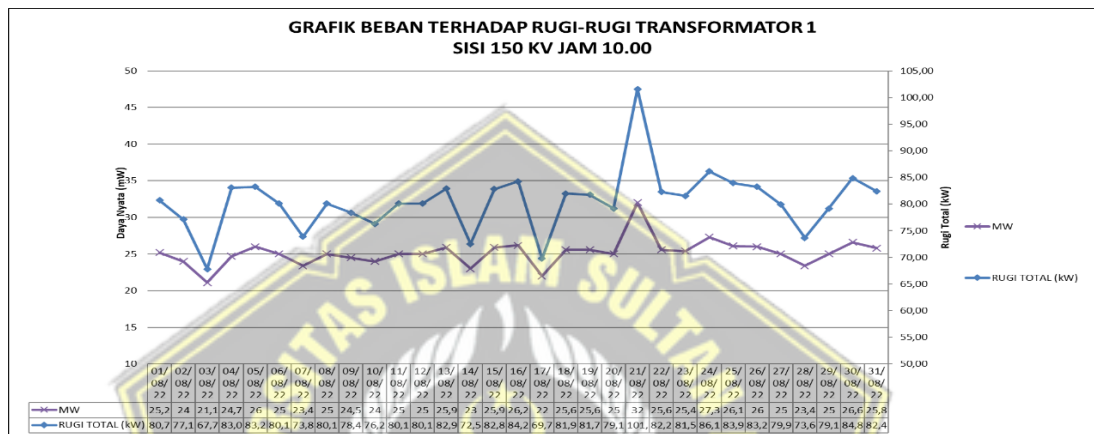
TGL	10,00 WIB				19,00 WIB			
	SISI 150 KV							
	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIEN SI (%)	MVA	RUGI TEMBA GA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIEN SI (%)
1	24,93	37,99	75,99	99,68600	25,50	39,72	77,72	99,68911
2	24,35	36,24	74,24	99,67722	27,66	46,75	84,75	99,68611
3	33,04	66,71	104,71	99,65670	25,98	41,23	79,23	99,68558
4	9,05	5,00	43,00	99,49409	25,76	40,54	78,54	99,68583
5	25,30	39,11	77,11	99,67870	25,50	39,72	77,72	99,68911
6	26,25	42,11	80,11	99,67958	25,66	40,24	78,24	99,68579
7	20,71	26,22	64,22	99,67235	23,70	34,33	72,33	99,68690
8	24,35	36,24	74,24	99,67722	25,50	39,72	77,72	99,68911
9	23,85	34,75	72,75	99,67666	27,14	45,01	83,01	99,68436
10	23,09	32,57	70,57	99,67922	26,68	43,51	81,51	99,68650
11	25,30	39,11	77,11	99,67870	26,68	43,51	81,51	99,68650
12	24,70	37,28	75,28	99,67271	24,84	37,69	75,69	99,68592
13	25,18	38,75	76,75	99,67202	24,67	37,19	75,19	99,68673
14	20,40	25,44	63,44	99,67468	23,35	33,31	71,31	99,68998
15	26,21	41,97	79,97	99,67360	26,61	43,26	81,26	99,68504
16	27,39	45,85	83,85	99,671	25,59	40,02	78,02	99,68668
17	16,49	16,62	54,62	99,659	21,21	27,50	65,50	99,68810
18	26,02	41,37	79,37	99,673	26,58	43,18	81,18	99,68534
19	25,00	38,19	76,19	99,674	25,78	40,62	78,62	99,68552
20	24,70	37,28	75,28	99,673	25,50	39,72	77,72	99,68911
21	24,61	37,02	75,02	99,675	24,14	35,60	73,60	99,68682
22	26,11	41,67	79,67	99,673	26,32	42,32	80,32	99,68502
23	26,33	42,38	80,38	99,673	27,46	46,08	84,08	99,68860
24	26,03	41,39	79,39	99,679	26,46	42,79	80,79	99,68565
25	33,24	67,53	105,53	99,660	27,00	44,54	82,54	99,68376
26	11,60	8,22	46,22	99,450	25,50	39,72	77,72	99,68911
27	25,01	38,24	76,24	99,673	25,30	39,11	77,11	99,68906
28	20,33	25,27	63,27	99,672	23,24	33,00	71,00	99,68586
29	24,04	35,32	73,32	99,681	25,50	39,72	77,72	99,68911
30	30,45	56,68	94,68	99,664	26,46	42,79	80,79	99,68565
31	25,24	38,92	76,92	99,673	25,52	39,79	77,79	99,68635

Berdasarkan tabel 4.5 diperoleh rata- rata efisiensi transformator 4 sisi 150 KV yaitu 99,67%,maka nilai efisiensi pada transformator 4 sisi 150 KV sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

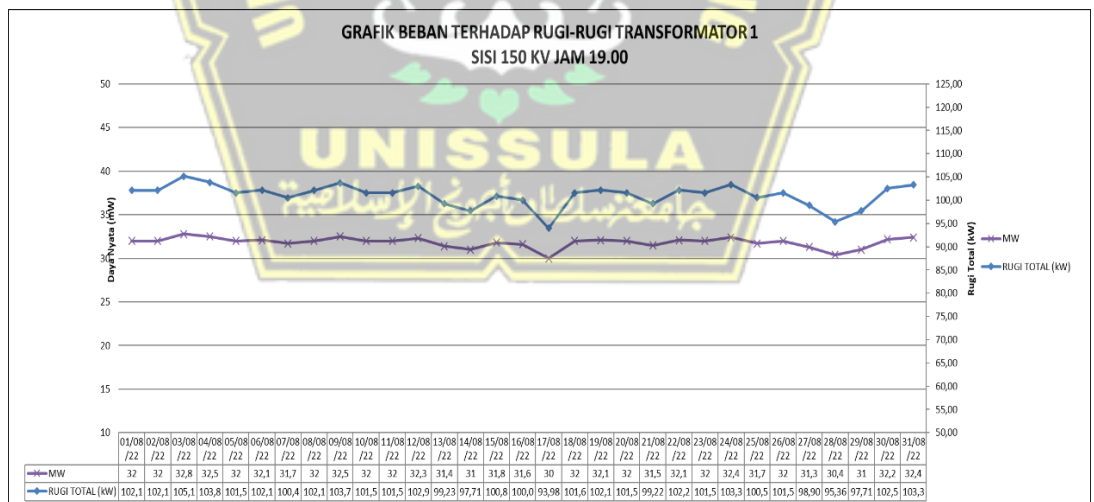
4.2 Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh hasil dan dapat dibuat grafik hubungan antara beban puncak terhadap rugi – rugi total dan efisiensi transformator. Data hasil perhitungan dapat dilihat dari gambar grafik 4.1 sampai 4.12.

4.2.1 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 150 KV



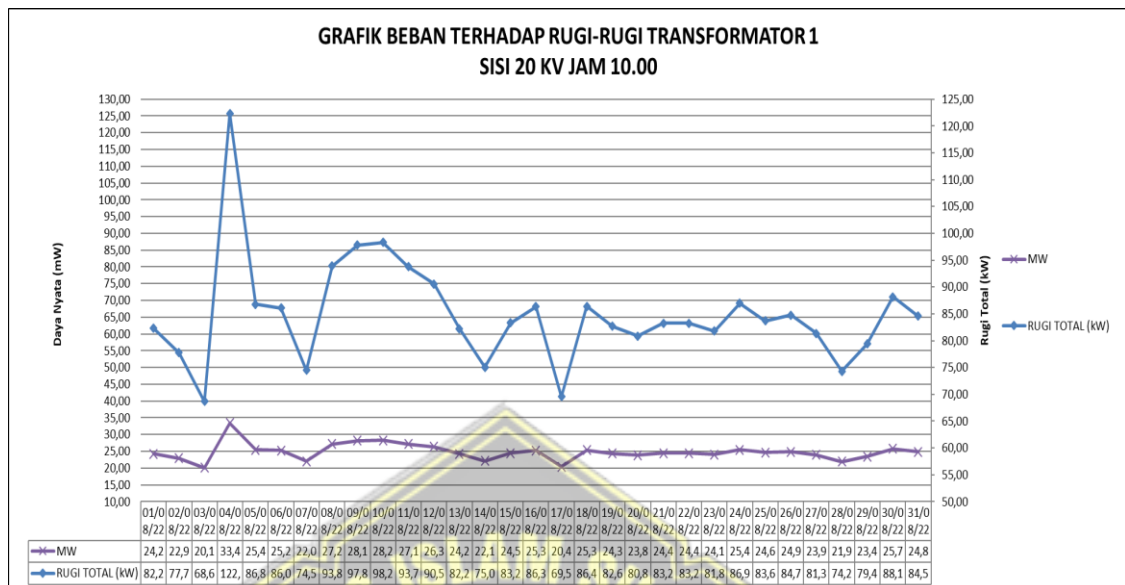
Gambar 4. 1 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 10:00



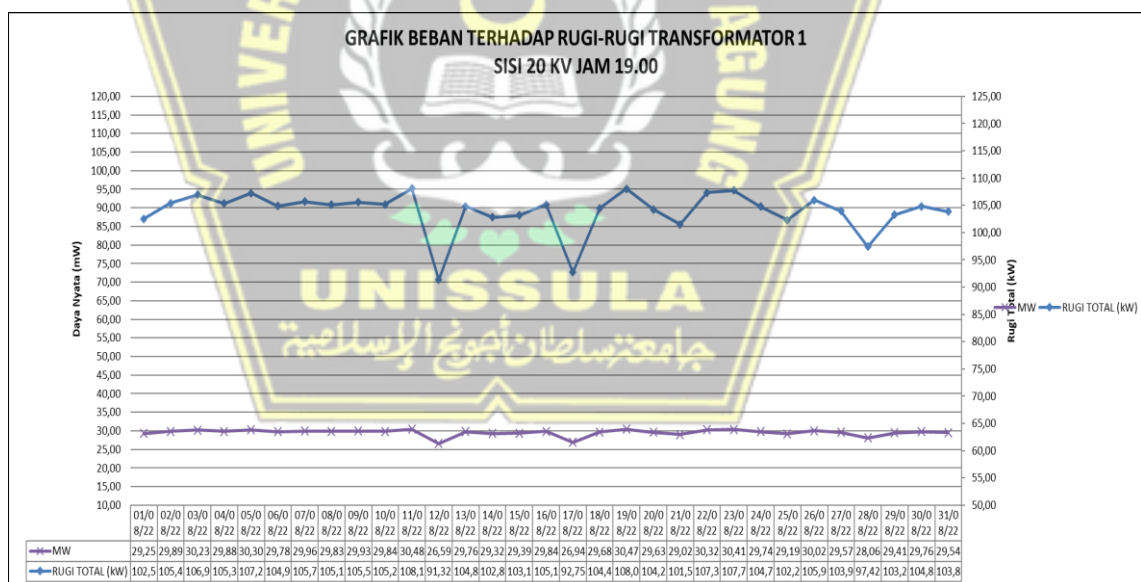
Gambar 4. 2 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.1 dan 4.2 dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar pula rugi – rugi yang dihasilkan pada transformator begitu juga sebaliknya.

4.2.2 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 20 KV



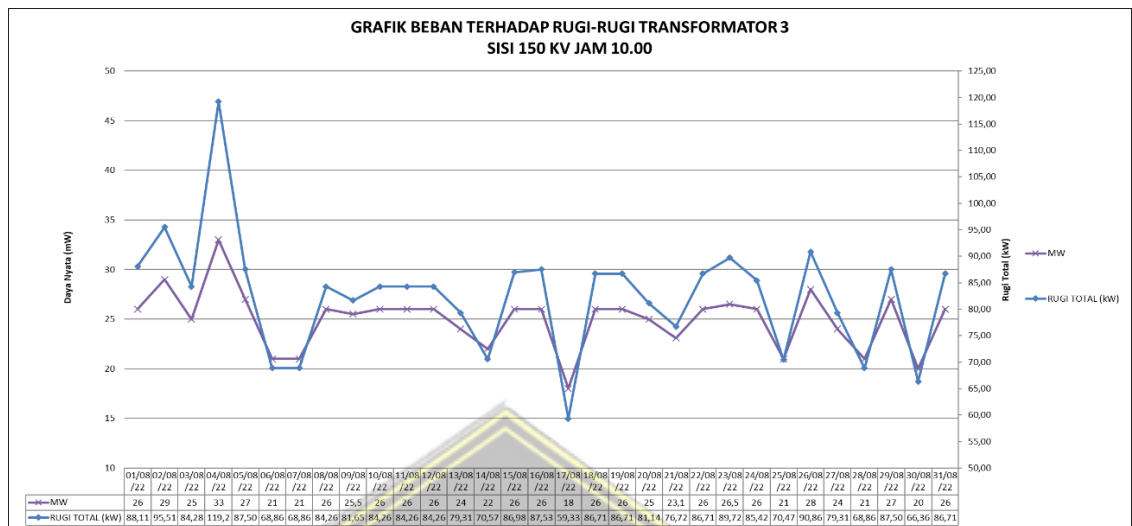
Gambar 4. 3 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 10:00



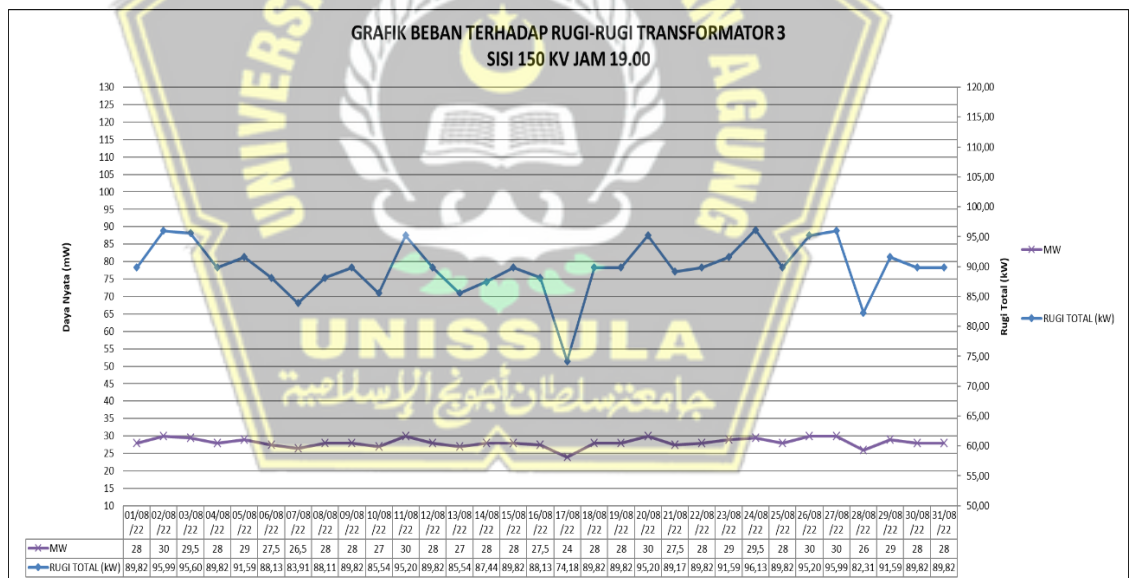
Gambar 4. 4 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.3 dan 4.4 dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar pula rugi – rugi yang dihasilkan pada transformator begitu juga sebaliknya.

4.2.3 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 150 KV



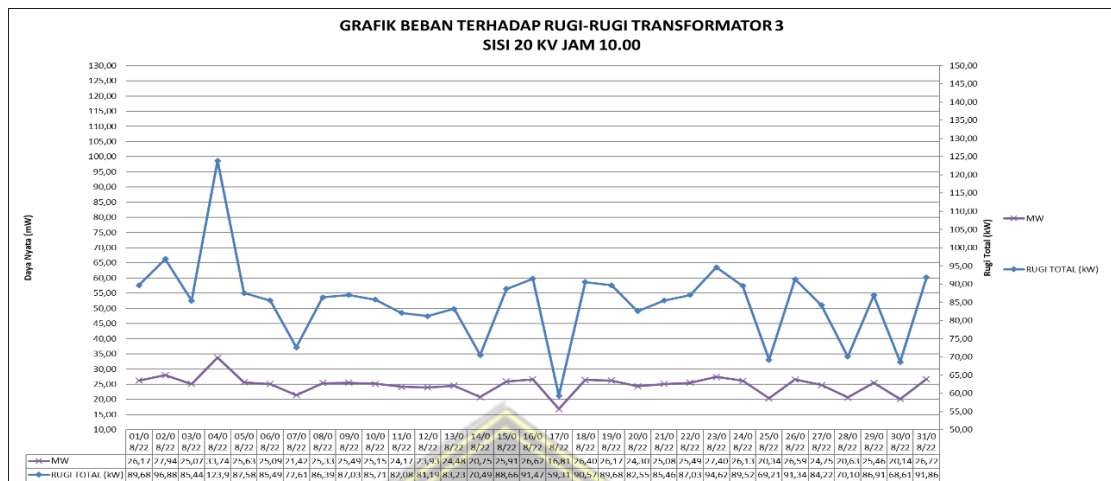
Gambar 4. 5 Grafik Pembebanan Denga Rugi Total Trasformator 3 Sisi 150 kV Jam 10:00



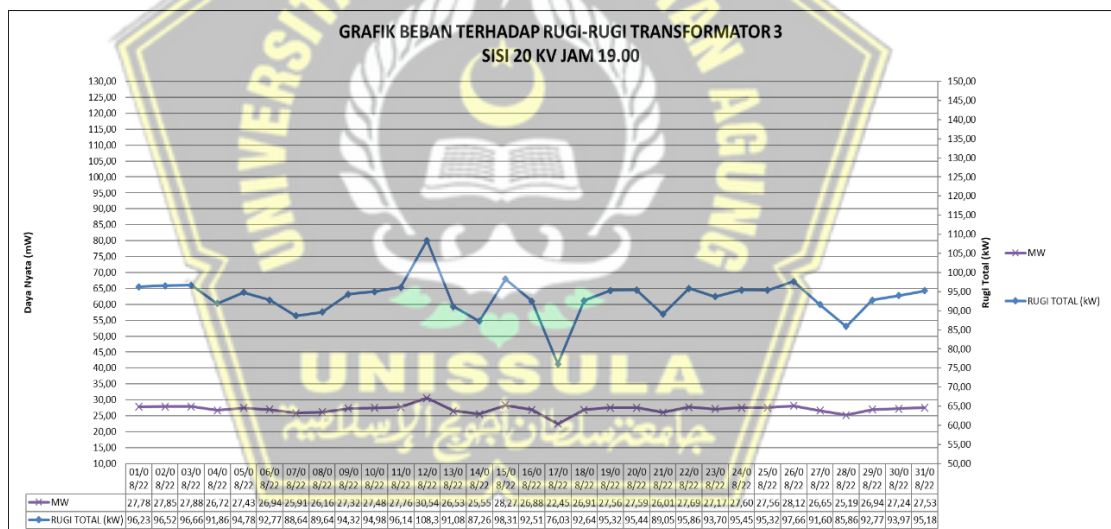
Gambar 4. 6 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Trasformator 3 Sisi 150 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.5 dan 4.6 dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar pula rugi – rugi yang dihasilkan pada trasformator begitu juga sebaliknya.

4.2.4 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 20 KV



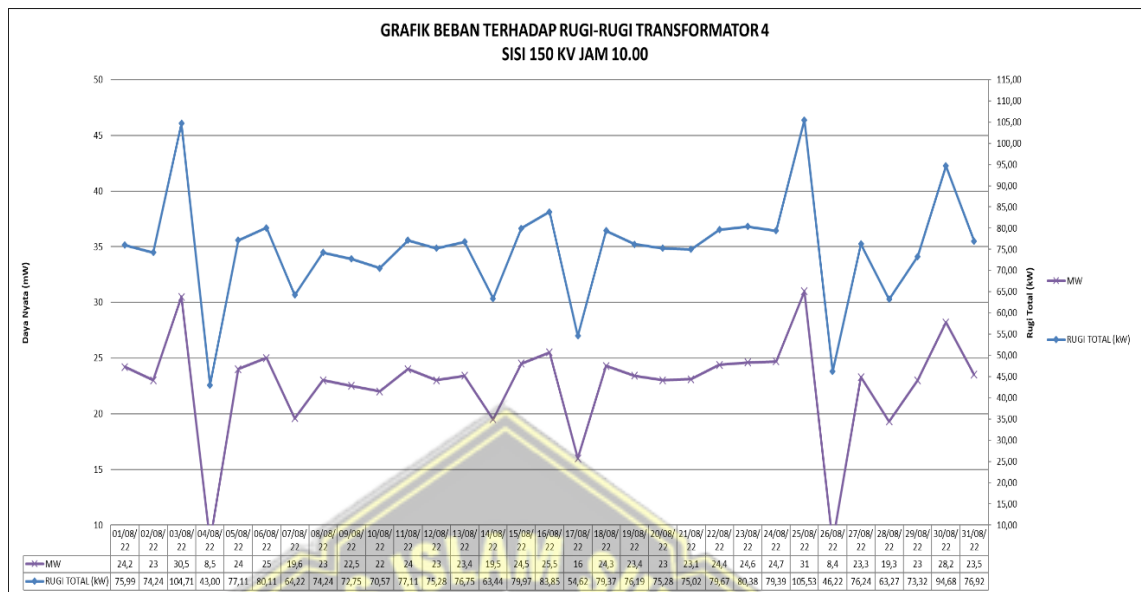
Gambar 4. 7 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 10:00



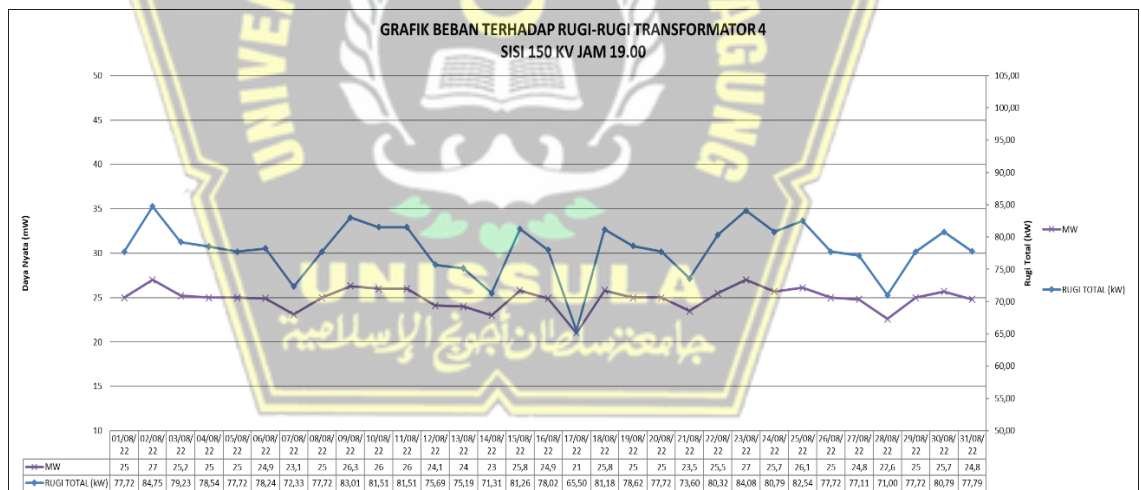
Gambar 4. 8 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.7 dan 4.8 dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar pula rugi – rugi yang dihasilkan pada trasformator begitu juga sebaliknya.

4.2.5 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 150 KV



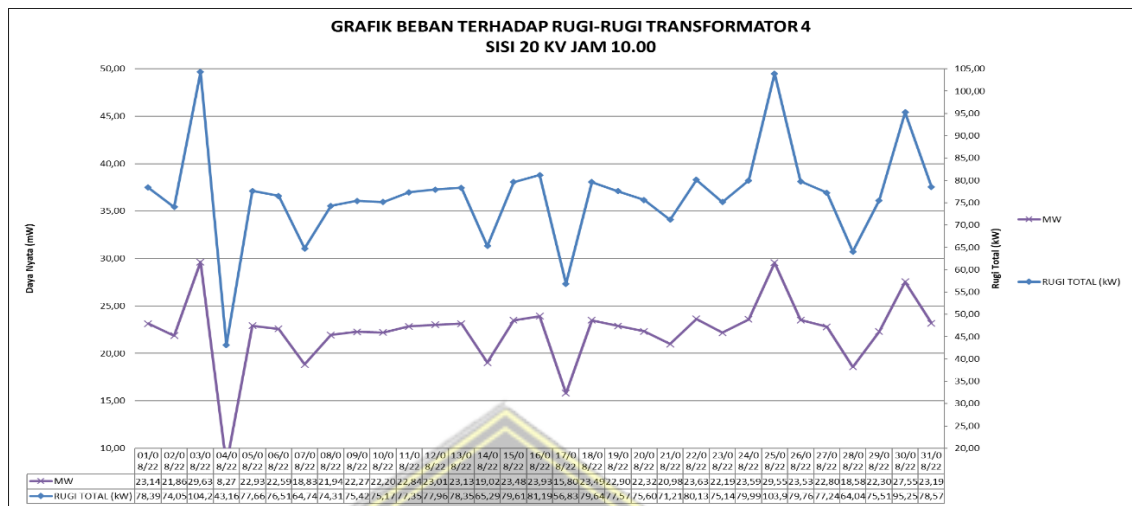
Gambar 4. 9 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 10:00



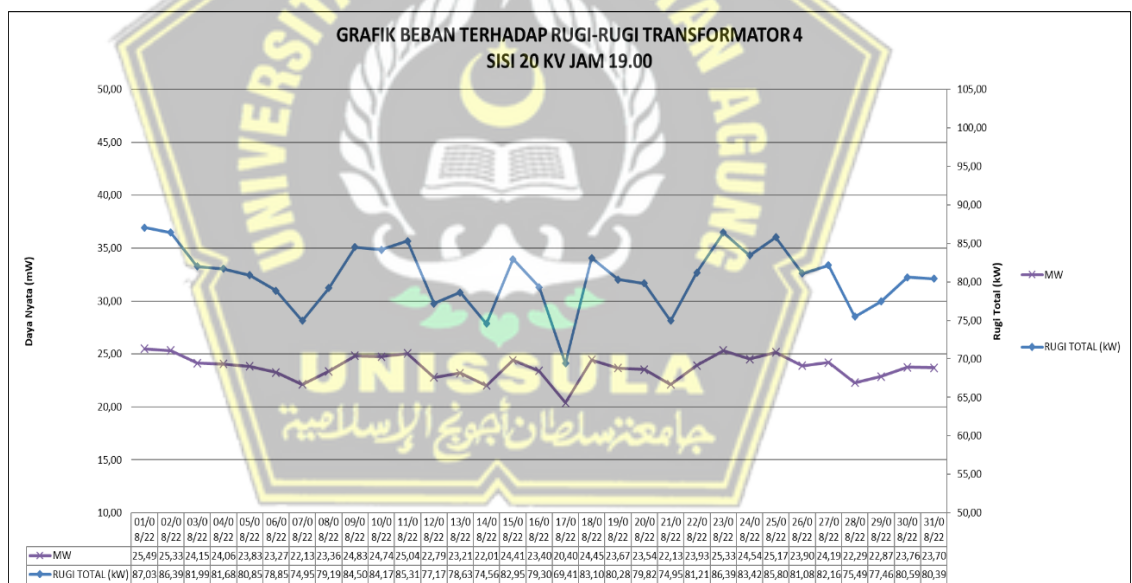
Gambar 4. 10 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.9 dan 4.10 dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar pula rugi – rugi yang dihasilkan pada transformator begitu juga sebaliknya.

4.2.6 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 20 KV



Gambar 4. 11 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 10:00



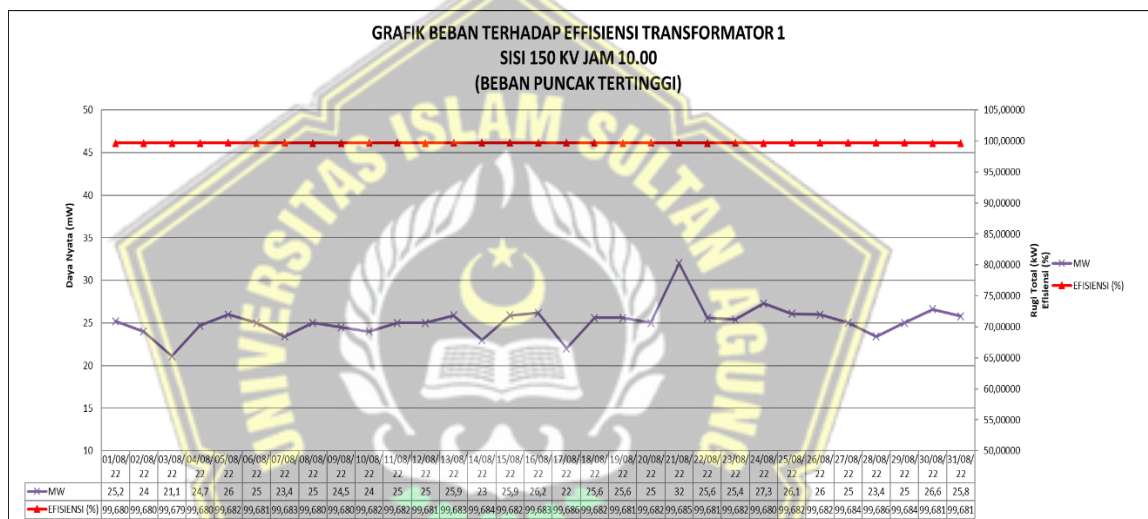
Gambar 4. 12 Grafik Pembebanan Dengan Rugi Total Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.11 dan 4.12 dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar pula rugi – rugi yang dihasilkan pada transformator begitu juga sebaliknya.

4.3 Grafik Pembebanan Terhadap Efisiensi

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh hasil dan dapat dibuat grafik hubungan antara beban puncak terhadap efisiensi transformator. Terlihat bahwa perubahan beban berdampak pada perubahan nilai efisiensi transformator walaupun perubahan nilai tidak terlalu besar. Data hasil perhitungan dapat dilihat dari gambar grafik 4.13 sampai 4.24.

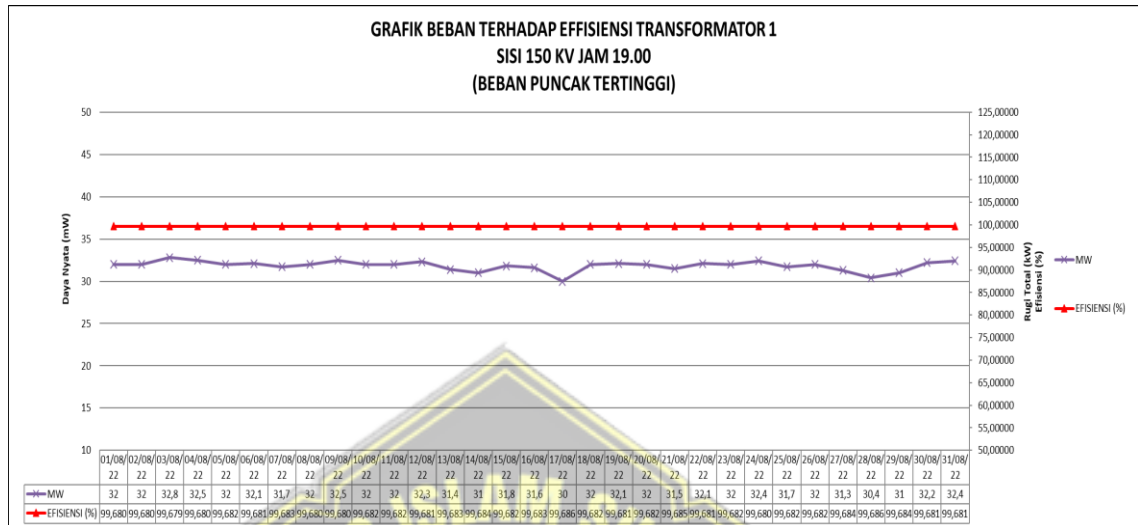
4.3.1 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 KV Jam 10:00



Gambar 4. 13 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 kV Jam 10:00

Berdasarkan gambar 4.13 ketika beban terendah siang 21,1 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,679 %, sedangkan pada saat beban tertinggi siang 32 MW nilai efisiensi sebesar 99,683 %.

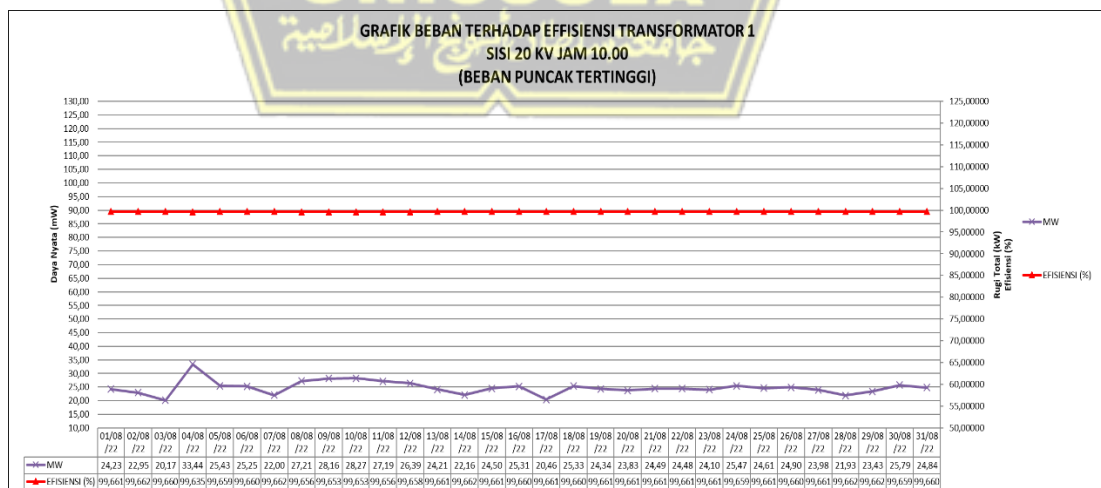
4.3.2 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 150 KV Jam 19:00



Gambar 4. 14 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Trasformator 1 Sisi 150 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.14 ketika beban terendah malam 30 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,679 %, sedangkan pada saat beban tertinggi malam 32,8 MW nilai efisiensi sebesar 99,687 %.

4.3.3 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 KV Jam 10:00

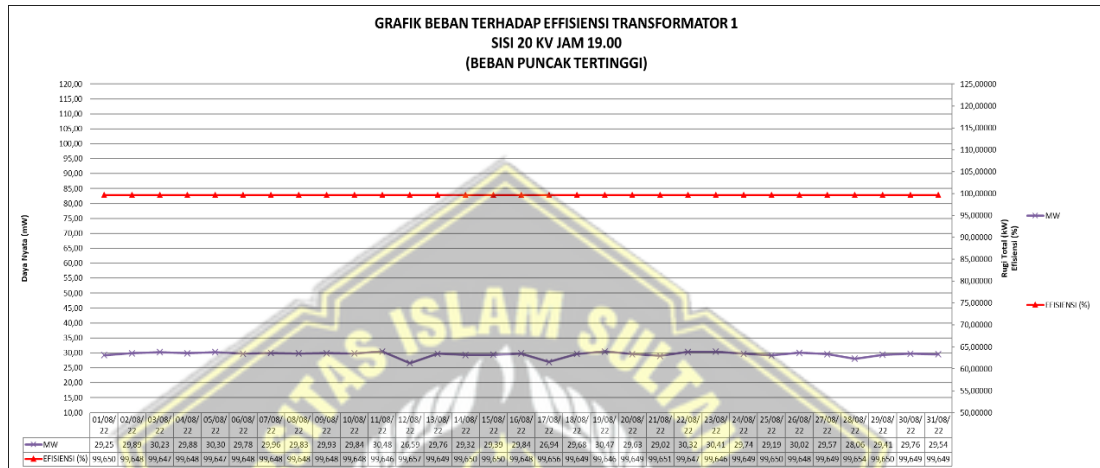


Gambar 4. 15 Grafik Beban Terhadap Efisiensti Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 10:00

Berdasarkan gambar 4.15 ketika beban terendah siang 20,17 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,661 %, sedangkan pada saat beban tertinggi siang 33,4 MW nilai efisiensi sebesar 99,635 %.

4.3.4 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 KV Jam

19:00

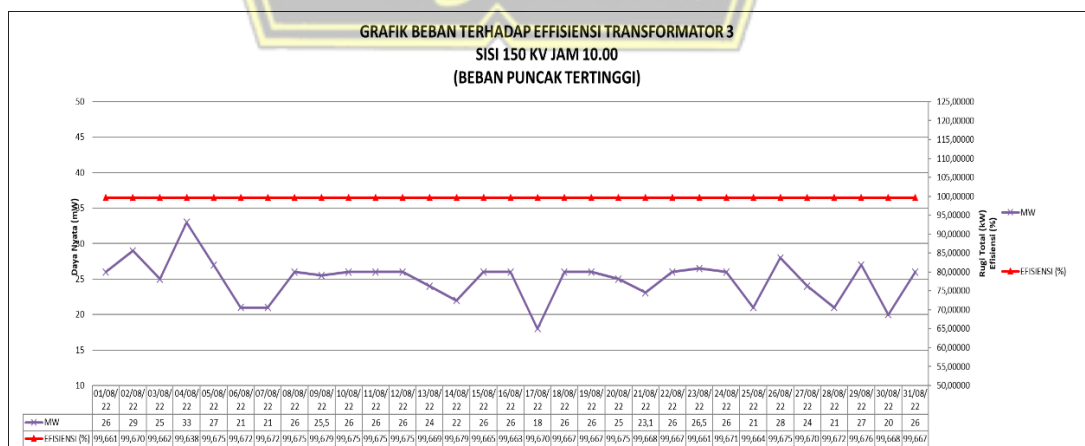


Gambar 4. 16 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 1 Sisi 20 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.16 ketika beban terendah malam 26,59 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,658 %, sedangkan pada saat beban tertinggi malam 30,48 MW nilai efisiensi sebesar 99,647 %.

4.3.5 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 KV Jam

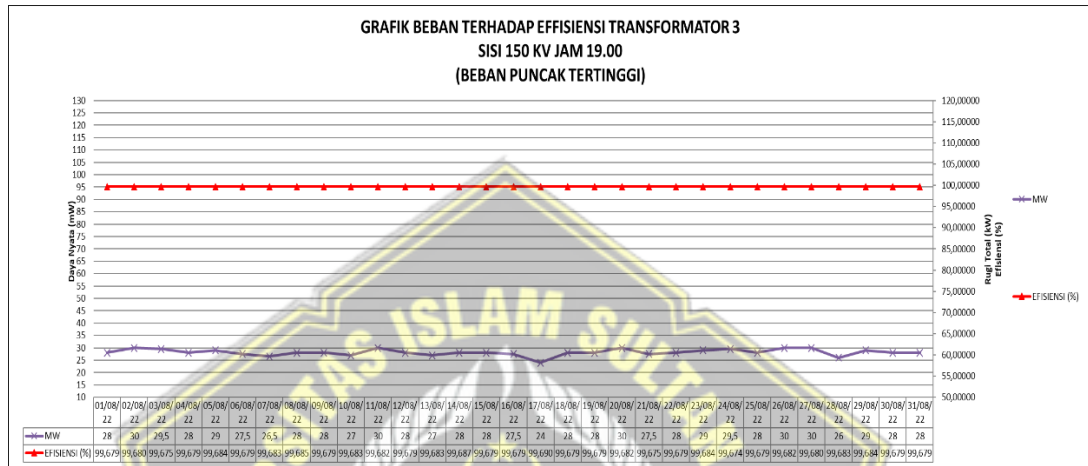
10:00



Gambar 4. 17 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 kV Jam 10:00

Berdasarkan gambar 4.17 ketika beban terendah siang 18 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,679 %, sedangkan pada saat beban tertinggi siang 33 MW nilai efisiensi sebesar 99,630 %.

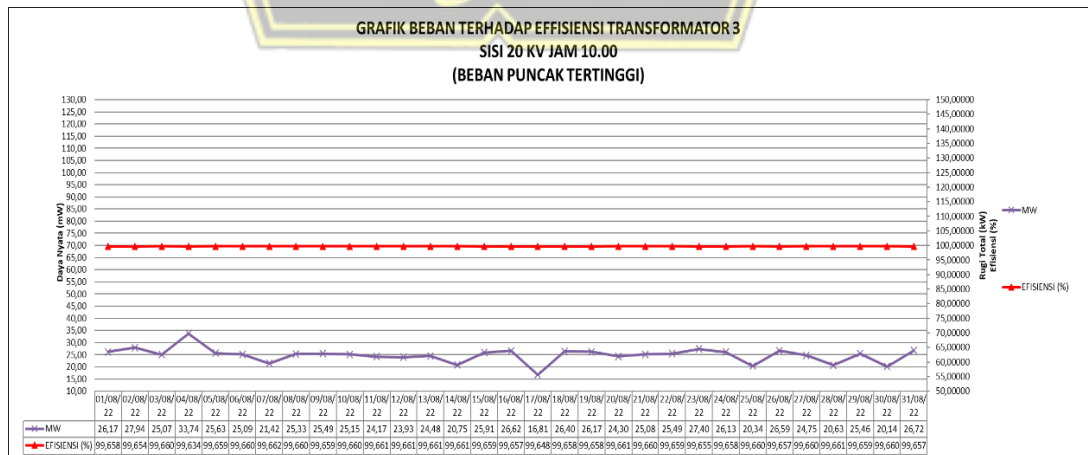
4.3.6 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 KV Jam 19:00



Gambar 4. 18 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 150 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.18 ketika beban terendah malam 24 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,679 %, sedangkan pada saat beban tertinggi malam 30 MW nilai efisiensi sebesar 99,683 %.

4.3.7 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 KV Jam 10:00

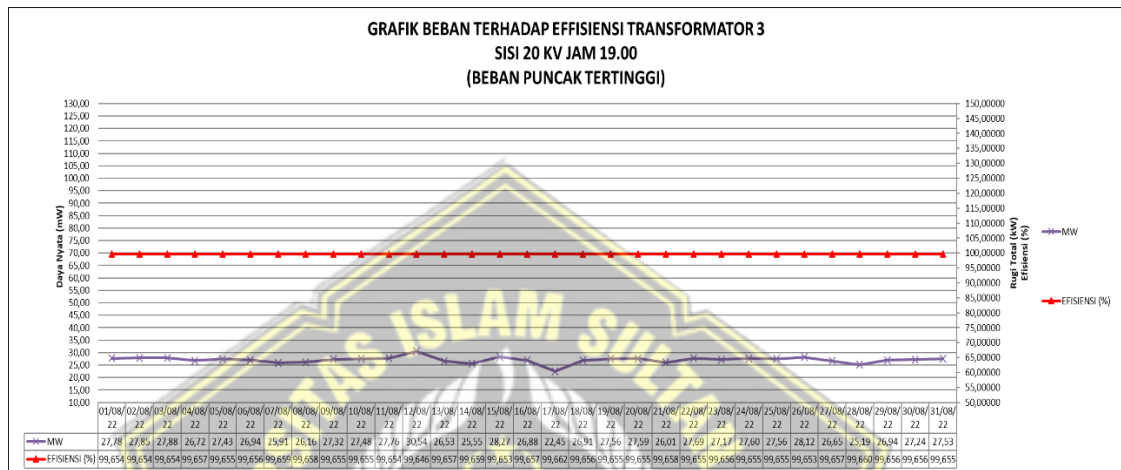


Gambar 4. 19 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 10:00

Berdasarkan gambar 4.19 ketika beban terendah siang 16,81 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,663 %, sedangkan pada saat beban tertinggi siang 33,74 MW nilai efisiensi sebesar 99,657 %.

4.3.8 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 KV Jam

19:00

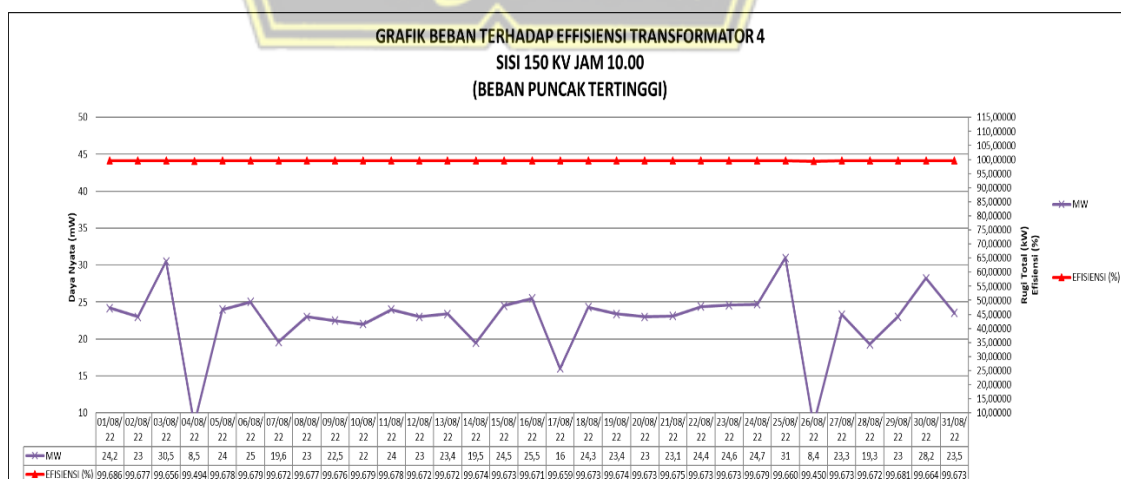


Gambar 4. 20 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 3 Sisi 20 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.20 ketika beban terendah malam 22,45 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,663 %, sedangkan pada saat beban tertinggi malam 30,54 MW nilai efisiensi sebesar 99,646 %.

4.3.9 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 KV Jam

10:00

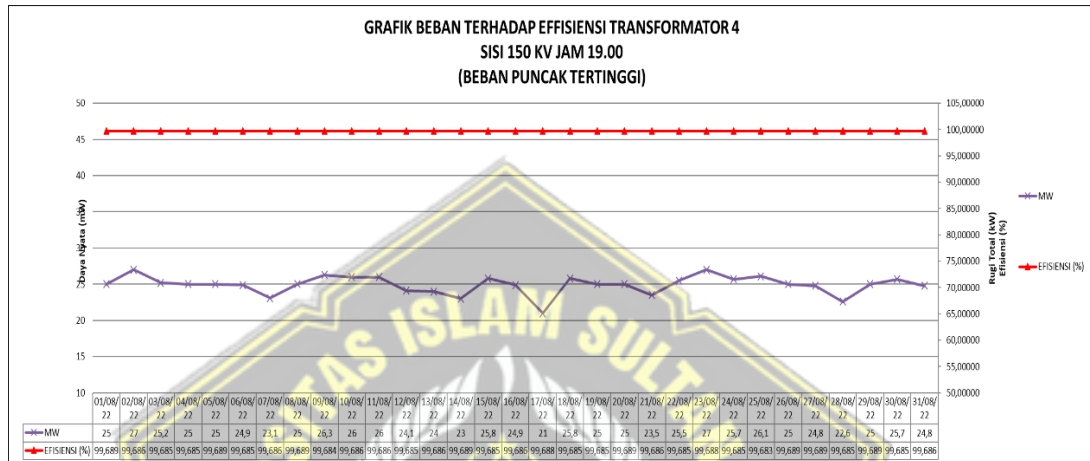


Gambar 4. 21 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 10:00

Berdasarkan gambar 4.21 ketika beban terendah siang 8,4 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,45 %, sedangkan pada saat beban tertinggi siang 31 MW nilai efisiensi sebesar 99,66 %.

4.3.10 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 KV Jam

19:00

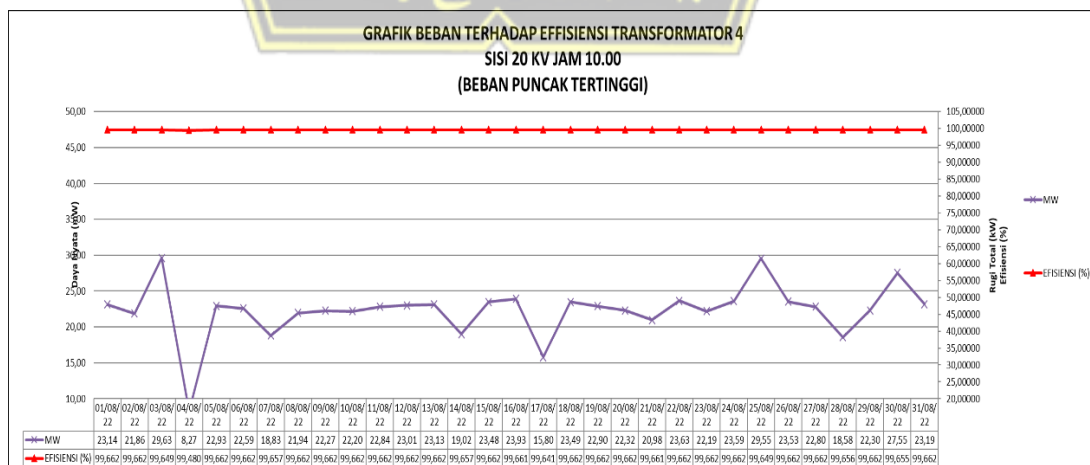


Gambar 4. 22 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 150 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.22 ketika beban terendah malam 21 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,688 %, sedangkan pada saat beban tertinggi malam 27 MW nilai efisiensi sebesar 99,689 %.

4.3.11 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 KV Jam

10:00

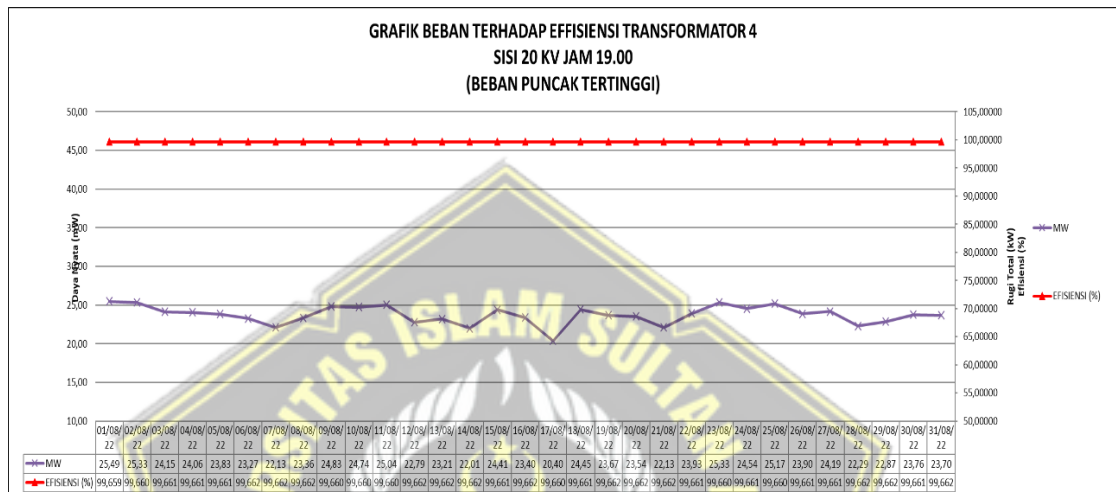


Gambar 4. 23 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 kV Jam 10:00

Berdasarkan gambar 4.23 ketika beban terendah siang 8,27 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,48 %, sedangkan pada saat beban tertinggi siang 29,63 MW nilai efisiensi sebesar 99,64 %.

4.3.12 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformator 4 Sisi 20 KV Jam

19:00



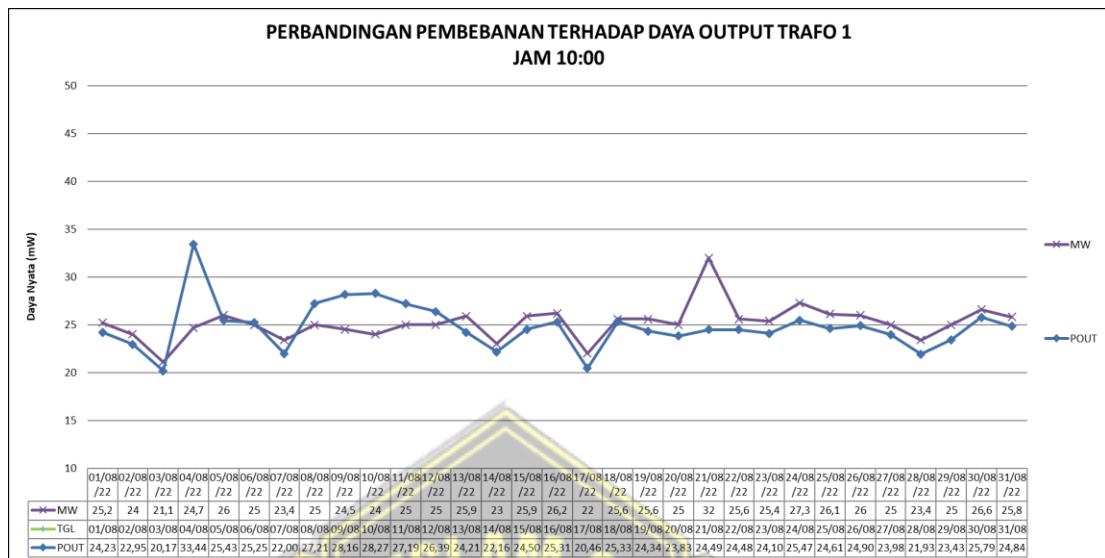
Gambar 4. 24 Grafik Beban Terhadap Efisiensi Transformstor 4 Sisi 20 kV Jam 19:00

Berdasarkan gambar 4.24 ketika beban terendah malam 20,40 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,661 %, sedangkan pada saat beban tertinggi malam 25,49 MW nilai efisiensi sebesar 99,660 %.

4.4 Grafik Pembebanan Terhadap Daya Output

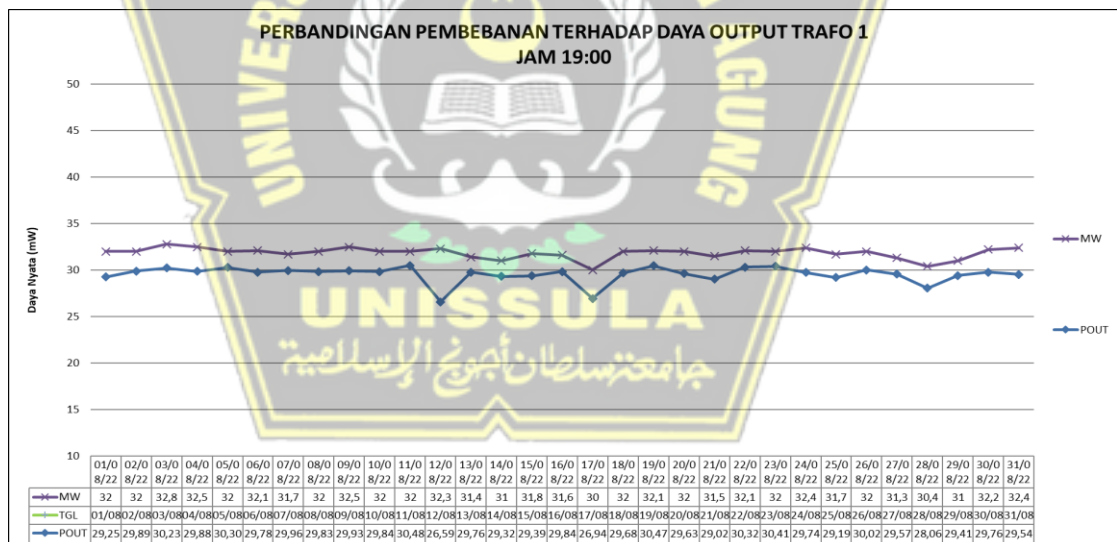
Setelah dilakukan perhitungan diperoleh hasil dan dapat dibuat grafik hubungan antara beban puncak terhadap daya output transformator. Terlihat bahwa perubahan beban berdampak pada perubahan nilai daya output walaupun perubahan nilai tidak terlalu besar. Data hasil perhitungan dapat dilihat dari gambar grafik 4.25 sampai 4.30.

4.4.1 Grafik Pembebanan Dengan Daya Output Transformator 1 Jam 10:00



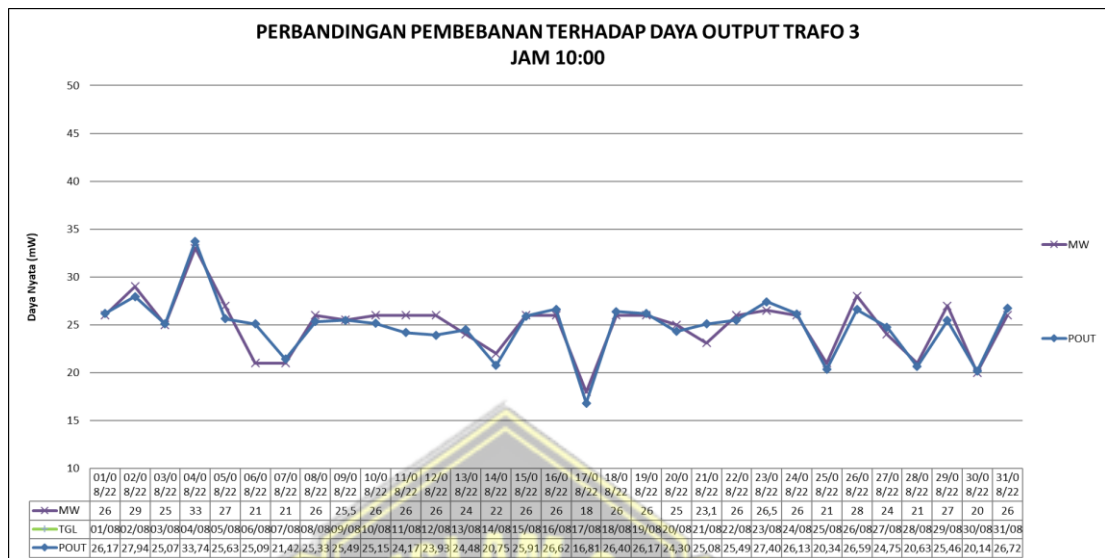
Gambar 4. 25 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 1 Jam 10:00

4.4.2 Grafik Pembebanan Dengan Daya Output Transformator 1 Jam 19:00



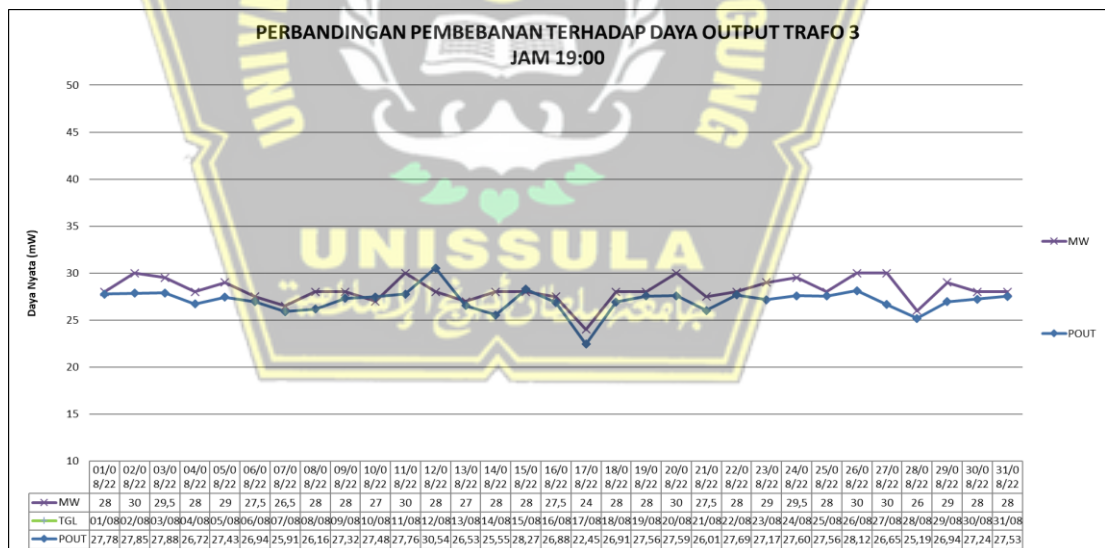
Gambar 4. 26 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 1 Jam 19:00

4.4.3 Grafik Pembebanan Dengan Daya Output Transformator 3 Jam 10:00



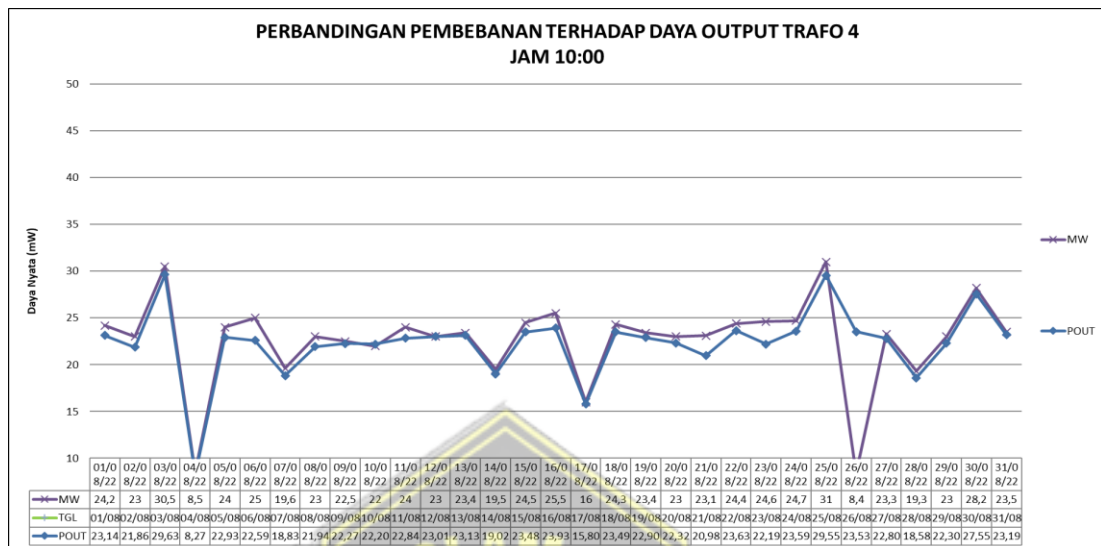
Gambar 4. 27 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 3 Jam 10:00

4.4.4 Grafik Pembebanan Dengan Daya Output Transformator 3 Jam 19:00



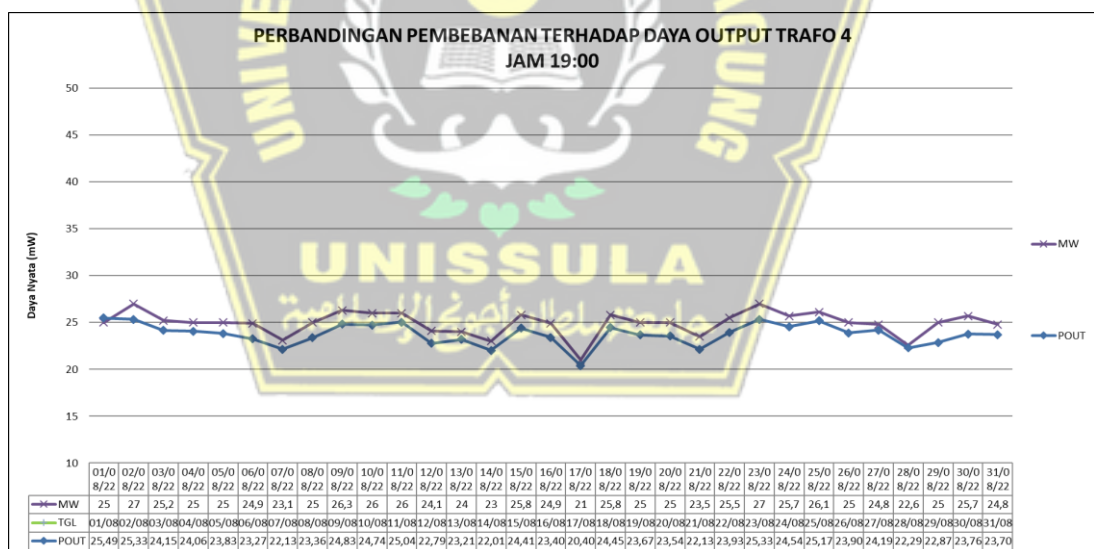
Gambar 4. 28 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 3 Jam 19:00

4.4.5 Grafik Pembebanan Dengan Daya Output Transformator 4 Jam 10:00



Gambar 4. 29 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 4 Jam 10:00

4.4.6 Grafik Pembebanan Dengan Daya Output Transformator 4 Jam 19:00



Gambar 4. 30 Grafik Beban Dengan Daya Output Transformator 4 Jam 19:00

Grafik – grafik diatas merupakan perbandingan pembebanan terhadap daya output transformator 1,3 dan 4 pada beban puncak siang dan malam. Berdasarkan gambar 4.24 sampai 4.30 dapat terlihat semakin besar pembebanan maka akan berpengaruh terhadap daya output begitu juga sebaliknya. Dalam hal ini daya output berada pada sisi sekunder transformator atau sisi 20 KV.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Rugi – rugi pada transformator daya berbanding lurus dengan pembebanan dimana jika semakin besar pembebanan maka semakin besar rugi – rugi yang dihasilkan. Terutama rugi tembaga karena rugi tembaga merupakan rugi – rugi yang tidak konstan sedangkan rugi inti mempunyai nilai konstan.
2. Berdasarkan perhitungan beban terhadap efisiensi transsformator 1,3 dan 4 didapat :
 - a. Efisiensi pada transformator daya 1 sisi 150 KV dengan beban puncak tertinggi 32,8 MW nilai efisiensi sebesar 99,687 %, sedangkan ketika beban puncak terendah 21,1 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,679 %.
 - b. Efisiensi pada transformator daya 1 sisi 20 KV dengan beban puncak tertinggi 33,4 MW nilai efisiensi sebesar 99,635 %, sedangkan ketika beban puncak terendah 20,17 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,661 %.
 - c. Efisiensi pada transformator daya 3 sisi 150 KV dengan beban puncak tertinggi 33 MW nilai efisiensi sebesar 99,630 %, sedangkan ketika beban puncak terendah 18 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,679 %.
 - d. Efisiensi pada transformator daya 3 sisi 20 KV dengan beban puncak tertinggi 33,74 MW nilai efisiensi sebesar 99,657 %, sedangkan ketika beban puncak terendah 16,81 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,663 %.
 - e. Efisiensi pada transformator daya 4 sisi 150 KV dengan beban puncak tertinggi 31 MW nilai efisiensi sebesar 99,66 % sedangkan

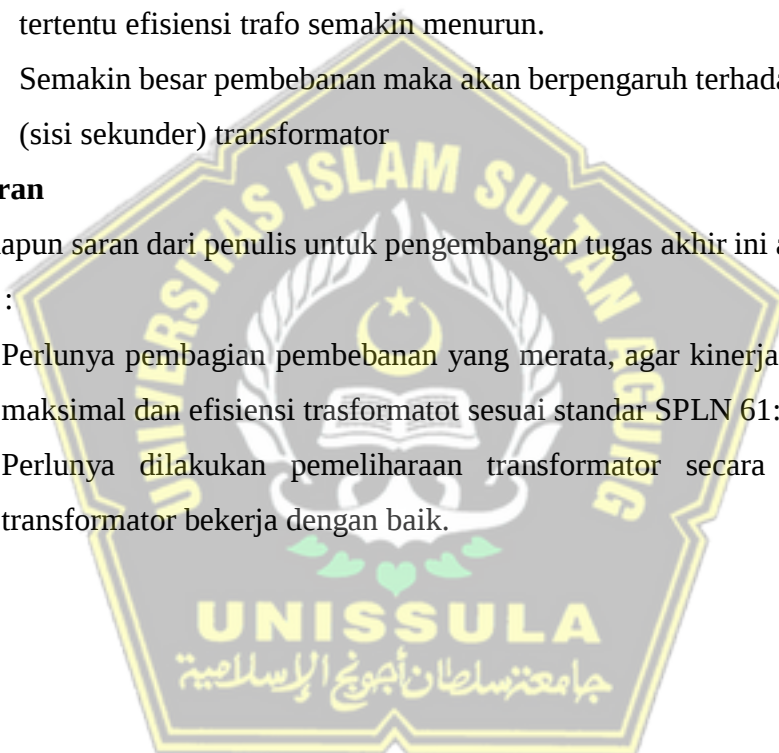
ketika beban puncak terendah 8,4 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,45 %.

- f. Efisiensi pada transformator daya 4 sisi 20 KV dengan beban puncak tertinggi 29,63 MW nilai efisiensi sebesar 99,64 %, sedangkan ketika beban puncak terendah 8,27 MW setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi sebesar 99,48 %
3. Setiap trafo memiliki karakteristik yang berbeda, semakin besar beban maka efisiensi trafo juga semakin besar, namun pada beban puncak tertentu efisiensi trafo semakin menurun.
4. Semakin besar pembebanan maka akan berpengaruh terhadap daya output (sisi sekunder) transformator

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perlunya pembagian pembebanan yang merata, agar kinerja transformator maksimal dan efisiensi transformator sesuai standar SPLN 61:1997
2. Perlunya dilakukan pemeliharaan transformator secara berkala agar transformator bekerja dengan baik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. T. Gultom, “Studi Efisiensi Transformator Daya Di Gardu Induk GIS Listrik,” *J. Ilm. “Dunia Ilmu,”* vol. 2, no. 4, pp. 142–148, 2016.
- [2] I. B. Tiasmoro and P. A. Topan, “ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI DAN SUSUT UMUR TRANSFORMATOR STEP UP 6kV / 70kV DI PLTU SUMBAWA BARAT,” vol. 5, no. 2, 2021.
- [3] A. Herawati, “Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7,” pp. 76–81.
- [4] Dodi Setiabudi, “Analisa Effisiensi Transformator Daya 20 Mya Gardu Induk 150 I(V Jember Teriiadap Perkembangan Beban Feeder,” *J. Rekayasa Teknol.,* vol. 2, no. 10, pp. 1–104, 2009.
- [5] S. Pamungkas, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Semarang, “Analisis pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator 60 mva 150/20kV unit 1 dan 2 di gardu induk kaliwungu,” vol. 50196, pp. 1–5.
- [6] Suhadi and T. Wrahatnolo, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Jilid 3 untuk SMK,* vol. 53, no. 9. 2008.
- [7] U. Wiharja, “Ujang Wiharja, MT,” 2009.
- [8] NN, “Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga No, 0520-2.K/,” *Pt Pln Persero,* 2014.
- [9] E. Trafo, D. Di, and G. Induk, “Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Trafo Daya Di Gardu Induk 150 KV,” 2021.
- [10] T. A. ELGANTORO, “Perhitungan Efisiensi Trafo 60 Mva Di Gardu Induk Mranggen,” 2020.
- [11] PT. PLN (Persero), “Spln 61:1997.” 1997.