

SKRIPSI

ANALISA TRANSFORMATOR TIGA FASE PADA GARDU INDUK PLN

SUNGGUMINASA



HAMSYAR

AHMAD RIVAI MALLONGI

105821107016

105821112616

PRODI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2021



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Hamsyar** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11070 16 dan **Ahmad Rivai Mallongi** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11126 16, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0008/SK-Y/20201/091004/2022, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Selasa, 30 Agustus 2022.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

07 Shafar 1443 H

03 September 2022 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

b. Sekretaris : Adriani, S.T., M.T

3. Anggota

1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

2. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

3. Rahmania, S.T., M.T

Mengetahui

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Ir. Abd Hafid, M.T

Dekan



Dr. Hj. Nurpawati, S.T., M.T., IPM

NPM 795 108

DEKAN

Abstrak

Umumnya transformator dibagi kedalam dua jenis yaitu transformator daya dan transformator distribusi, dalam penggunaannya biasanya efisiensi suatu transformator dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perbandingan kuat arus sekunder dan primer atau jumlah lilitan sekunder terhadap lilitan primer. Maka dari itu dalam Tugas Akhir ini dilakukan perbandingan efisiensi antara dua transformator tiga fase yang ada pada suatu gardu induk. Serta bagaimana pengaruh arus dan tegangan terhadap rugi-rugi pada transformator tiga fase. Dari hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata efisiensi transformator 1 saat beban puncak siang 99,337 %, beban puncak malam 99,435 %, serta efisiensi rata-rata transformator 2 saat beban puncak siang 99,437 %, beban pucak malam 99,465 %. Perbedaan efisiensi ini dipengaruhi oleh perbedaan nilai arus dan tegangan serta rugi-rugi yang dihasilkan pada saat pembebanan.

Kata kunci : **Transformator tiga fase, efisiensi, rugi-rugi.**

Abstract

Generally, transformers are divided into two types, namely transformers and transformers power and distribution transformers. In their use usually the efficiency of a transformer is influenced by several factors such as the ratio of current strength secondary and primary or the number of turns secondary to the primary winding. So Therefore, in this final project, a comparison of the efficiency between the two three-phase transformer in a substation. And how the effect of current and voltage on losses in three-phase transformers. From the results of the study obtained the average value of the efficiency of the transformer 1 when the load day peak 99.337%, peak night load 99.435%, and average efficiency transformer 2 when the peak load during the day is 99.437%, the peak load at night is 99.465%. This difference in efficiency is influenced by differences in the value of current and voltage as well as losses generated at the time of loading.

Keywords: *Three-phase transformer, efficiency, losses.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya yang tak berkesudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.

Penyelesaian tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik.

Dalam menyelesaikan perancangan dan skripsi ini penulis telah dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kehidupan, keselamatan dan kesehatan baik jasmani dan rohani;
2. Nabi Muhammad SAW yang senantiasa menjadi panutan kita
3. Terimakasih kepada kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.
4. Prof. Dr. H. Ambo Asse, M. Ag selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar;
5. Dr. Hj. Nurnawaty, ST., MT. selaku dekan di Fakultas Teknik;
6. Adriani, ST., MT. selaku ketua Prodi Teknik Elektro;
7. Ir. Abdul Hafid, ST., MT. selaku pembimbing satu;
8. Rizal A Duyo, ST., MT. selaku pembimbing dua;
9. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Prodi Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan, dan kemudahan yang diberikan selama kami menempuh proses perkuliahan;

10. Seluruh pihak yang terlibat / berpartisipasi dalam membantu penyusunan tugas akhir ini.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritikan sebagai bahan perbaikan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi maupun semua pihak yang memerlukannya.



DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Metode dan Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Transformator	6
2.2. Konstruksi Transformator	7
2.3. Prinsip Kerja Transformator	8
2.4. Teori Dasar Transformator Ideal	9
2.5. Keadaan Transformator Tanpa Beban	11
2.6. Keadaan Transformator Terhubung Singkat	18

2.7. Keadaan Transformator Berbeban	23
2.8. Transformator Tiga Fase	27
2.9. Hubungan Transformator Tiga Fase	28
2.10. Jenis-Jenis Hubungan Transformator Tiga Fase	30
2.11. Bilangan Jam/Grub Vektor	34
2.12. Ketidak Seimbangan Beban	37
2.13. Arus Netral	37
2.14. Daya Listrik	39
2.15. Rugi-rugi Transformator	43
2.16. Efisiensi Transformator	44
2.17. Regulasi Tegangan Transformator	46
BAB III METODOLOGI	47
3.1. Umum	47
3.2. Tempat Pengujian	48
3.3. Studi Literatur	48
3.4. Pengumpulan Data	48
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PENELITIAN	51
4.1. Single Line Diagram	51
4.2. Analisa Daya	57
4.3. Rugi Inti Dan Rugi Tembaga	57
4.4. Rugi Tembaga (Pt2)	58
4.5. Efisiensi Transformator	59
4.6. Pembebanan Dan Efisiensi Transformator	59

4.7. Analisis Persentase pembebanan	61
4.8. Analisis Hasil Penelitian	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	75



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe Inti	7
Gambar 2.2 Tipe Cangkang	8
Gambar 2.3 Skematik diagram transformator 1 fase	9
Gambar 2.4 Transformator ideal	9
Gambar 2.5 Skematik diagram dan vektor diagram transformator tanpa beban ..	11
Gambar 2.6 Rangkaian Percobaan beban nol	13
Gambar 2.7 rangkaian <i>ekivalen</i> pengukuran transformator tanpa beban	14
Gambar 2.8 Kurva histerisis dan diagram <i>fasor</i> transformator tanpa beban	15
Gambar 2.9 Mengurangi arus pular dengan memakai inti yang berlapis	17
Gambar 2.10 Transformator terhubung singkat	19
Gambar 2.11 Fluks transformator	20
Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen transformator terhubung singkat	21
Gambar 2.13 Rangkaian transformator terhubung singkat dengan primer	22
Gambar 2.14 Rangkaian ekivalen transformator terhubung singkat dengan sekunder	23
Gambar 2.15 Skematik diagram transformator berbeban	24
Gambar 2.16 Rangkaian ekivalen transformator berbeban	26
Gambar 2.17 Diagram vektor transformator berbeban induktif	26
Gambar 2.18 Diagram vektor transformator berbeban resitif	27
Gambar 2.19 Diagram vektor transformator berbeban kapasitif	27
Gambar 2.20 Konstruksi transformator 3 fase inti tunggal	28
Gambar 2.21 Transformator tiga Fase hubungan bintang	29

Gambar 2.22 Transformator tiga fase hubungan segitiga/delta	30
Gambar 2.23 Transformator tiga Fase hubungan Y-Y	32
Gambar 2.24 Transformator tiga fase hubungan Y- Δ	33
Gambar 2.25 Transformator tiga fase hubungan Δ -Y.....	33
Gambar 2.26 Transformator tiga fase hubungan Δ - Δ	34
Gambar 2.27 Kelompok hubungan DY5	35
Gambar 2.28 Diagram fasor ketidak seimbangan arus pada sistem tenaga listrik tiga fase	38
Gambar 2.29 Segitiga daya	42
Gambar 2.30 Variasi efisiensi terhadap faktor daya	35
Gambar 3.1 Bagan alir	50
Gambar 4.1 <i>Single line</i> diagram gardu induk sungguminasa.....	51
Gambar 4.2 Rangkaian trafo 3 fase	53
Gambar 4.3 Grafik rugi total TD1 siang	63
Gambar 4.4 Grafik daya output TD1 siang	63
Gambar 4.5 Grafik efisiensi TD1 siang	64
Gambar 4.6 Grafik rugi total TD2 siang	65
Gambar 4.7 Grafik daya output TD2 siang	65
Gambar 4.8 Grafik efisiensi TD2 siang	66
Gambar 4.9 Grafik rugi total TD1 malam	67
Gambar 4.10 Grafik daya output TD1 malam	67
Gambar 4.11 Grafik efisiensi TD1 malam	68
Gambar 4.12 Grafik rugi total TD2 malam	68

Gambar 4.13 Grafik daya output TD2 malam69
Gambar 4.14 Grafik efisiensi TD2 malam69



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelompok hubungan sesuai dengan VDE 0532	36
Tabel 4.1 Data arus beban puncak trafo 1 siang	53
Tabel 4.2 Data arus beban puncak trafo 2 siang	53
Tabel 4.3 Data arus beban puncak Trafo 1 malam	54
Tabel 4.4 Data arus beban puncak Trafo 2 malam	54
Tabel 4.5 Pengukuran sisi <i>incoming</i> 1 september 2021	55
Tabel 4.6 Pengukuran sisi <i>incoming</i> 7 september 2021	55
Tabel 4.7 Pengukuran sisi <i>incoming</i> 10 september 2021	56
Tabel 4.8 Pengukuran sisi <i>incoming</i> 15 september 2021	56
Tabel 4.9 Pembebanan tertinggi siang trafo 1	59
Tabel 4.10 Pembebanan tertinggi siang trafo 2	60
Tabel 4.11 Pembebanan tertinggi malam trafo 1	60
Tabel 4.12 Pembebanan tertinggi malam trafo 2	61
Tabel 4.13 Efisiensi rata-rata transformator 1 dan 2	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Transformator adalah alat listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan, menaikkan atau menurunkan tegangan agar dapat sesuai dengan kebutuhan pemakai atau beban.

Alasan penggunaan Transformator yaitu: untuk menyesuaikan tegangan yang keluar dari sumber sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan; karena daya yang dialirkan bersumber dari tempat yang jauh maka di perlukan tegangan tinggi; adanya perbedaan kebutuhan tegangan yang dipakai.

Umumnya transformator dibagi kedalam dua jenis yaitu trafo daya dan trafo distribusi, trafo daya berada di pembangkit listrik untuk meningkatkan tegangan dan juga menangani daya besar, sedangkan untuk jenis tegangannya terbagi kedalam: 33 KV, 66 KV, 132 KV, 220 KV, 400 KV dan sebagainya. Sedangkan trafo distribusi berada di gardu induk distribusi yang menangani daya rendah, kemudian untuk jenis tegangannya adalah: 11 KV, 6.6 KV, 3.3 KV, 440 V, 230 V.

Trafo yang paling banyak digunakan di lapangan yaitu trafo distribusi yang menggunakan sistem tiga fasa karena pertimbangan efisiensi yang dapat mengurangi berat dan lebar kerangka dibanding apabila dilakukan

penggabungan tiga transformator. Pada tugas akhir ini, penulis akan melakukan analisa terhadap transformator tiga fase, transformator tiga fase dengan tiga kumparan banyak digunakan dalam power sistem ketika rating MVA dari kumparan ketiga bernilai lebih rendah dari kumparan primer maupun kumparan sekunder, maka kumparan ketiga disebut dengan kumparan tersier. Kumparan tersier dapat digunakan ketika beban aktual atau beban tambahan dalam suatu gardu induk harus dipasok pada rating tegangan yang berbeda dari rating tegangan kumparan primer maupun rating tegangan kumparan sekunder. Kumparan tersier dapat dihubungkan ke beberapa komponen kompensasi daya reaktif seperti kondensor, *reactor shunt*, atau kapasitor bank untuk injeksi daya reaktif ke dalam sistem sehingga tegangan dapat dipertahankan dalam batas yang telah ditentukan. Dalam beberapa aplikasi yang disebutkan, kumparan tersier biasa dihubungkan secara delta yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada proposal ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan efisiensi transformator 3 fase yang ada pada gardu induk sungguminasa gowa
2. Bagaimana pengaruh arus dan tegangan terhadap rugi-rugi pada transformator 3 fase di gardu induk sungguminasa gowa.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

- A. Melakukan analisa terhadap perbandingan efisiensi transformator yang ada pada gardu induk sungguminasa:
- B. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh arus dan tegangan terhadap rugi dan efisiensi transformator pada gardu induk sungguminasa.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Transformator yang di pergunakan adalah transformator pada Gardu induk sungguminasa, tetebatu, kec. Pallangga, kab. Gowa, Sulawesi Selatan.
2. Penelitian hanya berfokus ke transformator 3 fase dalam melayani beban yang ada di Gardu induk sungguminasa.
3. Penelitian tidak membahas rugi-rugi daya pada arus netral

1.5. Manfaat Penelitian

- A. Penulis ingin memperdalam pemahaman tentang transformator;
- B. Untuk memberikan pemahaman tentang pentingnya mengetahui cara pemakaian transformator tiga fase;
- C. Penulis dapat mengetahui efisiensi transformator tiga fase dan factor-faktor yang mempengaruhinya sehingga diharapkan bisa menjadi racuan di bidang pendidikan dan konkretisasi penggunaan

transformator.

1.6. Metode Dan Sistematika Penulisan

A. Metode Penulisan

Untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini maka penuliskan beberapa metode studi diantaranya :

1. Studi *literature* dengan mendalami teori-teori baik dari referensi yang dimiliki oleh penulis dan ataupun sumber lain yang dianggap relevan dengan tugas akhir tersebut berupa media cetak dan media *online*;
2. Studi lapangan dilaksanakan pada Gardu Induk PLN. Sungguminasa;
3. Studi bimbingan yaitu dengan melakukan diskusi tentang topik akhir tugas ini dengan dosen pembimbing yang di tunjuk oleh ketua prodi teknik elektro unismuh Makassar.

B. Sistematika penulisan

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut.

1. BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan yang berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat, penulisan, metode dan sistematika penulisan.

2. BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang transformator secara umum. konstruksi prinsip kerja, dan transformator tiga Phasa.

3. BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjabarkan tentang kondisi umum trafo di gardu induk PLN Sungguminasa dan data yang dibutuhkan dalam perhitungan efisiensi transformator tiga fase.

4. DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar yang mencantumkan spesifikasi sebuah buku yang meliputi judul buku, nama pengarang, penerbit, dan informasi yang terkait.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Transformator

Transformator adalah perangkat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dimulai dengan setidaknya satu sirkuit listrik kemudian ke sirkuit berikutnya melalui kopling yang menarik dan sesuai dengan standar penerimaan elektromagnetik. (Zuhail, 1982)

Transformator banyak digunakan baik di bidang tenaga listrik maupun gadget. Dalam pemanfaatan kerangka tenaga listrik, transformator digunakan untuk memindahkan energi mulai dari satu rangkaian listrik kemudian ke rangkaian berikutnya tanpa mengubah pengulangan. Umumnya dapat menambah atau mengurangi tegangan serta arus, sehingga memungkinkan transmisi tinggi tambahan.

Dalam bidang ketenagalistrikan, penggunaan trafo dibedakan menjadi 3, yaitu trafo gerak maju atau disebut trafo daya yang digunakan untuk membangun tegangan pembangkit ke tegangan transmisi, trafo ventura atau trafo angkut yang digunakan untuk mengurangi transmisi. tegangan ke tegangan. trafo diseminasi, trafo penduga yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus yang digunakan untuk menurunkan tegangan dan arus yang masuk ke alat penduga.

2.2. Konstruksi Transformator

Secara mendalam, tangki, kerangka pendingin, terminal dan busing. Dilihat dari luas lengkungan ke pusat trafo, ada dua macam pengembangan, yaitu tipe tengah dan tipe cangkang. Kedua jenis menggunakan pusat tertutup yang terputus satu sama lain untuk mengurangi kemalangan dan arus pusaran air. Secara garis besar trafo dapat dibedakan menjadi dua macam sesuai dengan perkembangannya, yaitu:

A. Tipe Inti (*Core Type*)

Secara mendalam dan pengembangan bagian tengahnya terlihat seperti huruf L atau huruf U. Perkembangan (peletakan) ikal secara bertahap dan terorganisir untuk menutupi (*interleaving*) antara loop esensial dan loop tambahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini, dengan tujuan untuk mengurangi tumpahan yang



menarik (*attractive spillage*) sebagai reaktansi induktif.

Gambar 2.1 Tipe Inti

(Sumber: *A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL., 1978*)

Curl tegangan tinggi diletakkan di luar karena pemikiran bahwa perlindungan tegangan tinggi lebih membingungkan untuk dikelola

dan lebih sering dipengaruhi oleh impedansi daripada loop tegangan rendah, sehingga dengan asumsi ada bahaya, lebih mudah untuk membuka loop.

B. Tipe Cangkang (*Shell Type*)

Secara mendalam dan perkembangannya seperti huruf E, huruf I, dan huruf F.



Gambar 2.2 Tipe Cangkang

(Sumber: *A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL., 1978*)

2.3. Prinsip Kerja Transformator

Trafo adalah alat listrik statis, yang digunakan untuk memindahkan daya mulai dari satu rangkaian kemudian ke rangkaian berikutnya, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah pengulangan. Dalam struktur yang paling mudah, sebuah transformator terdiri dari dua ikal dan induktansi umum. Curl esensial adalah yang mendapatkan daya, dan loop opsional dikaitkan dengan heap. Dua loop dipelintir di tengah yang terdiri dari bahan menarik yang dilapis. (Kadir, 1998).

Trafo berurusan dengan pedoman elektromagnetik. Dalam, karena ikal membentuk organisasi tertutup, arus penting mengalir. Karena adanya gerak pada essential loop maka terjadi penerimaan (*self enlistment*) pada

essential curl dan acceptance terjadi pada opsional curl karena dampak penerimaan dari essential curl (*shared enlistment*) yang menyebabkan transisi atraktif pada auxiliary loop, seperti serta arus bantu dengan asumsi sirkuit opsional terkait. dengan tumpukan, sehingga energi listrik dapat dipindahkan secara keseluruhan (menarik). (Wijaya, 2001)

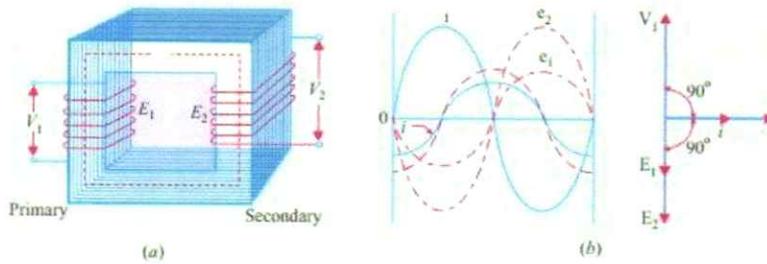


Gambar 2.3 Skematik Diagram Transformator 1 fase

(Bersumber dari: *A Text-book of Electrical Technology by Theraja B.L., 1978*)

2.4. Teori Dasar Transformator Ideal

Trafo yang ideal adalah trafo yang tidak mengalami kerugian, misalnya loop tidak memiliki hambatan ohmik, tidak ada tumpahan yang menarik, tidak memiliki kemalangan I^2R dan pusat kemalangan. sangat. Bagaimanapun, harus diperhatikan bahwa sulit untuk mengenali transformator seperti itu. (Theraja, 1978).



Gambar 2.4 Trafo Ideal

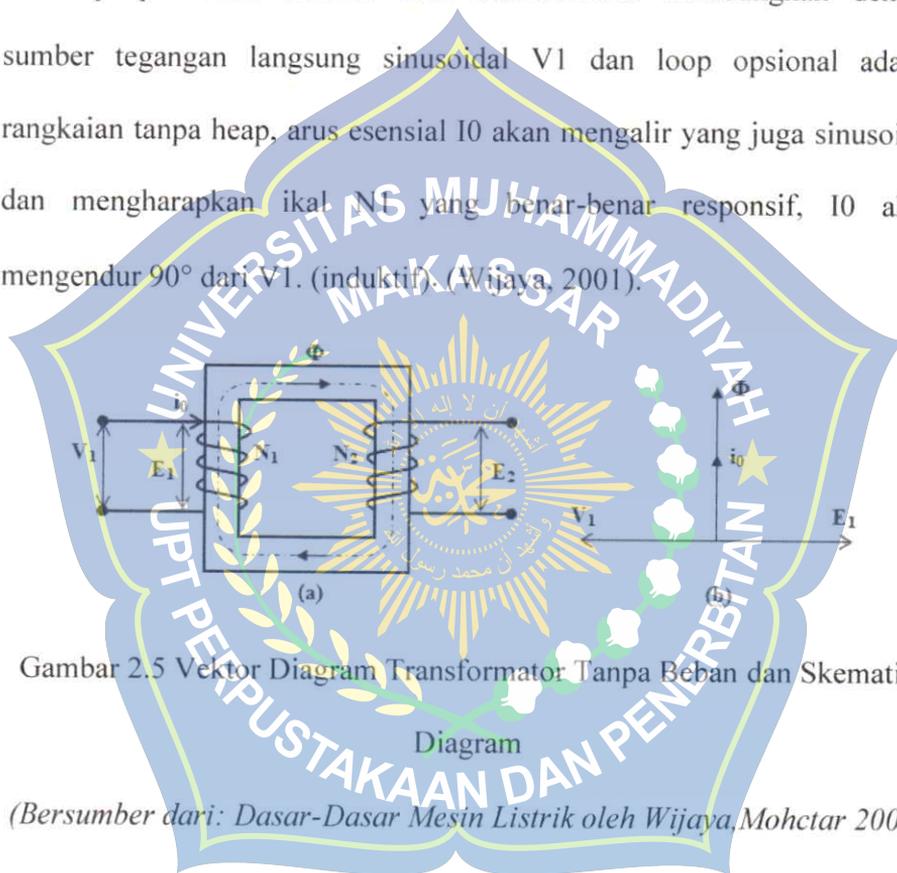
Pertimbangkan transformator ideal pada Gambar 2.4 (a) di mana opsional terbuka dan esensial dikaitkan dengan tegangan putar sinusoidal V_1 . Kontras potensial membuat aliran arus berputar di sisi esensial. Karena loop esensial hanya induktif dan tidak ada hasil (sisi opsional terbuka), sisi esensial hanya mengarahkan arus yang menarik I_1 . Kapasitas arus ini adalah membuat magnet di tengah berukuran kecil dan 90° di belakang oleh V_1 . I_1 menghasilkan transisi pertukaran yang setiap saat relatif terhadap arus (mengharapkan porositas rangkaian menarik yang konsisten) dan dengan cara ini berada dalam tahap dengannya. Perubahan transisi ini terhubung dengan loop esensial dan opsional. Selanjutnya, ia memberikan penerimaan emf di sisi esensial. E.m.f self enlistment (E_1) pada setiap saat setara dengan dan berbanding terbalik dengan V_1 . Ini disebut invert emf di sisi primer..

Pada dasarnya, ada penciptaan ggl E_2 yang diminta di sisi tambahan yang dikenal sebagai penerimaan bersama ggl. E.m.f ini keluar dari tahap dengan V_1 dan relatif terhadap laju kemajuan transisi dan jumlah putaran opsional. Kualitas cepat dari tegangan yang diberikan, ggl yang dipicu,

gerakan dan arus tarik-menarik ditunjukkan oleh gelombang sinusoidal pada Gambar 2.4 (b). Gambar 2.4(c) menunjukkan representasi vektor dari kualitas yang berhasil dari jumlah di atas.

2.5. Keadaan Transformator Tanpa Beban

Kapanun ikal esensial dari transformator dihubungkan dengan sumber tegangan langsung sinusoidal V_1 dan loop opsional adalah rangkaian tanpa heap, arus esensial I_0 akan mengalir yang juga sinusoidal dan mengharapkan ikal N_1 yang benar-benar responsif, I_0 akan mengendur 90° dari V_1 . (induktif). (Wijaya, 2001).



Gambar 2.5 Vektor Diagram Transformator Tanpa Beban dan Skematik Diagram

(Bersumber dari: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Fluks (Φ) sefase yang diciptakan oleh arus primer I_0 dan dalam sebuah rangkaian yang berbentuk sinusoidal.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (2.1)$$

Sesuai dengan hukum faraday, dalam kumparan primer fluks tersebut diinduksikan dengan cara:

$$e_1 = - \frac{d\lambda_1}{dt} = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

λ_1 = Gandengan fluks yang ada pada kumparan primer

Φ = Fluks

N_1 = Total lilitan dalam sebuah kumparan primer

Kemudian persamaan 2.1 dan 2.2 di subsikan:

$$e_1 = - \frac{\Phi_{maks} \cdot \sin \omega t}{dt} = -N_1 \omega \Phi_{maks} \cdot \cos t \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi) \dots (2.3)$$

Dalam keadaan penuh $e_{1maks} = N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{maks}$, dimana $\omega = 2\pi f$, maka nilai efektifnya:

$$E_1 = \frac{e_{1.maks}}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \cdot 2\pi f \Phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_{maks} \dots\dots\dots(2.4)$$

Pada saat tegangan tersebut bukan sebuah gelombang sinusoidal, maka persamaannya adalah:

$$E_1 = 4 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_{maks} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana faktor mula atau faktor bentuk dari gelombang sinusoidal adalah:

$$= \frac{\text{Nilai efektif (rms)}}{\text{Nilai rata - rata (average)}} = 1,11$$

Biasanya saat terjadi penurunan tegangan resistif atau *resistif voltage drop* maka hal tersebut dapat diabaikan, sehingga persamaannya menjadi:

$$\Phi_{maks} = \frac{V_1}{4,44 \times t \times N_1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dalam sebuah rangkaian sekunder maka fluks tersebut menjadi:

$$e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \omega \Phi_{\text{maks}} \cos \omega t$$

Sehingga didapat : $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$ (2.8)

Dengan diabaikannya rugi tahanan dan adanya fluks yang bocor.

A. Percobaan Beban Nol

Berikut adalah contoh sebuah rangkaian pada percobaan beban nol (tampa beban):

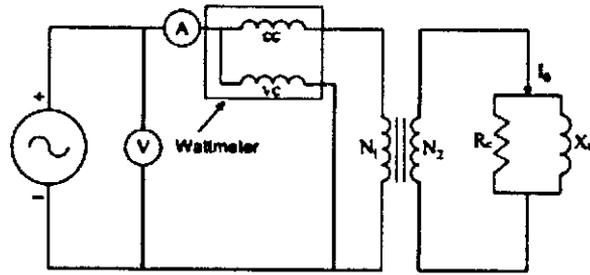


Gambar 2.6 Percobaan Beban Nol

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Biasanya pada saat pengujian beban nol, semua alat ukur di posisikan dalam keadaan tegangan rendah (namun tak jarang juga diposisikan pada keadaan tegangan tinggi), yang bertujuan untuk memudahkan pengukuran dan pembacaan pada data yang ditampilkan.

Maka dari itu, pada hasil pengukuran pada percobaan beban nol nilai R_c dan X_m dapat di ketahui, dibawah ini adalah diagram ekuivalen pada percobaan beban nol:



Gambar 2.7 Diagram Ekuivalen Pada Pengukuran Trafo Tanpa Beban
(Bersumber dari : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar
2001)

Hasil dari percobaan beban nol tersebut melambangkan keberadaan core (inti) yang terdapat pada transformator tersebut.

B. Karakteristik Transformator Tanpa Beban

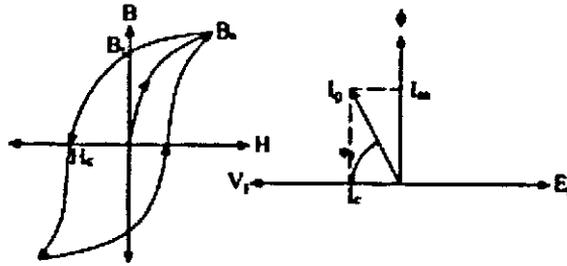
Hasil yang didapatkan dari percobaan beban nol tersebut diketahui bahwa arus penguat pada I_o bukan arus dengan induktif murni, akan tetapi arus tersebut terdiri dari 2 komponen yaitu:

1. Komponen arus pemagnetan I_m adalah arus yang di perlukan dalam menciptakan fluks pada inti (*core*) transformator. bagian rugi inti atau rugi besi (*core-loss component*) pada arus penguat I_c menyebutkan bahwa arus yang digunakan karena terdapat rugi histerisis dan juga rugi arus olak/arus pusar (*eddy current*), sehingga I_c sefase dengan V_1 , maka terdapat daya yang hilang (rugi inti) senilai:

$$P_i = I_c \cdot V_1$$

$$P_i = E_1 \times I_o \times \cos \phi_o \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : $\cos \phi_0$ yaitu faktor daya pada I_c dan I_o .



Gambar 2.8 Diagram Fasor Dan Kurva Histerisis Pada Trafo tidak Berbeban

(Bersumber dari: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Dalam kondisi medan magnet yang sangat besar kemudian diletakkan sebatang logam, maka hal itu mengubahnya menjadi magnet (*saturation magnetization*), sehingga besar pada kerapatan fluks penguatan (B_r) mengalami kenaikan yang terlihat pada tanda garis pada naik kemudian mencapai nilai jenuhnya/ saturasi (B_s). Jika nilai saturasi pada medan magnet dikurangi, maka terjadi penurunan kerapatan pada fluks (terlihat arah pada panah turun), namun belum cukup cepat untuk melewati jalur sebelumnya ketika fluk naik menjadi saturasi, yang menyebabkan terciptanya suatu area antara turun dan naik.

Rugi histerisis dirumuskan:

$$P_h = f \cdot \oint B \cdot dH \text{ [W/m}^3\text{]} \dots\dots\dots(2.9)$$

2. Koersifitas: kebalikan yang di perlukan pada intensitas magnetik

agar rapat fluksi sampai nol, setelah bahan magnetasi sampai jenuh.

Dengan melihat diagram fasor pada gambar 2.8 maka:

$$I_c = I_0 \times \cos \varphi_0$$

$$I_m = I_0 \times \sin \varphi_0$$

Sirkulasi induksi yang dikenal sebagai arus olak (*eddy current*) yang diakibatkan karena adanya pergerakan massa-massa logam pada medan magnet yang terdapat dalam medan magnet yang tidak tetap ke seluruh volume logam tersebut, sehingga tercipta garis aliran arus yang tegak lurus terhadap fluks. Inti besi yang terdapat pada logam tersebut termasuk sebuah penghantar, sehingga setiap lengkungan besi dinyatakan sebagai atau sama dengan lintasan rangkaian tertutup yang menyatu dengan yang lain. Berdasarkan hukum len, terjadinya reaksi pada inti besi yang mengurangi perubahan yang disebabkan karena adanya arus olak yang terjadi karena adanya konduksi elektron-elektron. Rugi-rugi akibat panas yang di timbulkan oleh arus olak besarnya dinyatakan:

$$P_e = \frac{I^2}{\sigma} = (\pi \times t \times f \times B_{maks})^2 \times \sigma / \theta \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

P_e = rugi-rugi arus pusar (olak) (Watt/m³)

σ = konduktivitas pada penghantar (S/m)

J = kerapatan arus pusar/olak (Ampere/m²)

T = tebal laminasi (m)

B_{maks} = kerapatan maksimum fluks (T)

Tidak ada rugi arus olak yang terdapat di beban isolator sebab $\sigma = 0$ (*isolator*), sehingga $P_e = 0$.

Dengan menggunakan inti yang tipis dan berlapis-lapis maka arus olak dibuat hampir tidak ada lagi. Karena adanya lapisan oksidasi atau adanya laminasi (diberi vernis) menimbulkan adanya daya hambat listrik antara permukaan lapisan yang efektif sehingga menyebabkan berkurangnya arus olak pada tiap lapisan. Karena tempuhnya bertambah panjang maka daya hambatnya juga bertambah. Sehingga meskipun tidak terjadi perubahan pada ggl, efek panas dan arusnya menjadi kecil. Inti pada transformator yang kecil di buat menggunakan serbuk besi dan dipadatkan dengan tekanan tinggi agar rugi arus olak dapat di buat seminim mungkin.



Gambar 2.9 Inti Tipis Dan Berlapis Untuk Mengurangi Arus Pusar

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar

2001)

Dengan menggunakan besi simpal yang histerisisnya kecil maka rugi histerisis dapat menjadi kecil. Untuk menunjukkan berbagai efek pada

faktor kerugian secara kualitatif, maka digunakan rumus:

$$P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

P_i = rugi inti/ rugi besi (Watt)

$P_h = K_h \times f \times B^x_{maks}$ (W/lb)

Dinyatakan sebagai rugi histeris sehingga:

$$P_e = K_e \times f^2 \times t^2 \times B^2_{maks}$$
 (W/lb)

Dikenal sebagai rugi arus pusar (olak).

Dimana :

t = tebalnya laminasi (mm)

K_h = nilai histerisis

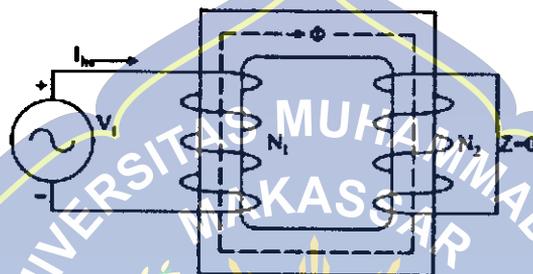
K_e = nilai arus pusar

x = nilai histerisis tambahan

Ketergantungan K_h , K_e , dan x pada mutu logam yang digunakan pada inti transformator. Rumu rugi histerisis turunan yang dikemukakan oleh Dr. Steinmetz, dimana x sama dengan 1,6. Namun x dapat menjadi 3,0 pada logam-logam modern. Selain dipengaruhi oleh *material* (bahan) yang dipergunakan, Rugi arus olak dan rugi histerisis juga dapat dipengaruhi karena adanya perubahan frekuensi dan tegangan juga kerapatan fluks. Rugi histerisis dipengaruhi oleh terjadinya perubahan pada frekuensi dan tegangan pada sistem kelistrikan yang digunakan dalam perbandingan pada penggunaan trafo daya yang serba sama di sistem kelistrikan yang berbeda-beda.

2.6. Keadaan Transformator Terhubung Singkat

Keadaan dimana kumparan primer pada trafo disambungkan dengan suatu sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, dimana kedua ujung sekunder saling terhubung merupakan keadaan transformator yang terhubung singkat (*short circuit*). Hal ini dapat dilihat pada contoh rangkaian trafo yang terhubung singkat pada gambar dibawah:



Gambar 2.10 Rangkaian Trafo Hubung Singkat

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohetar 2001*)

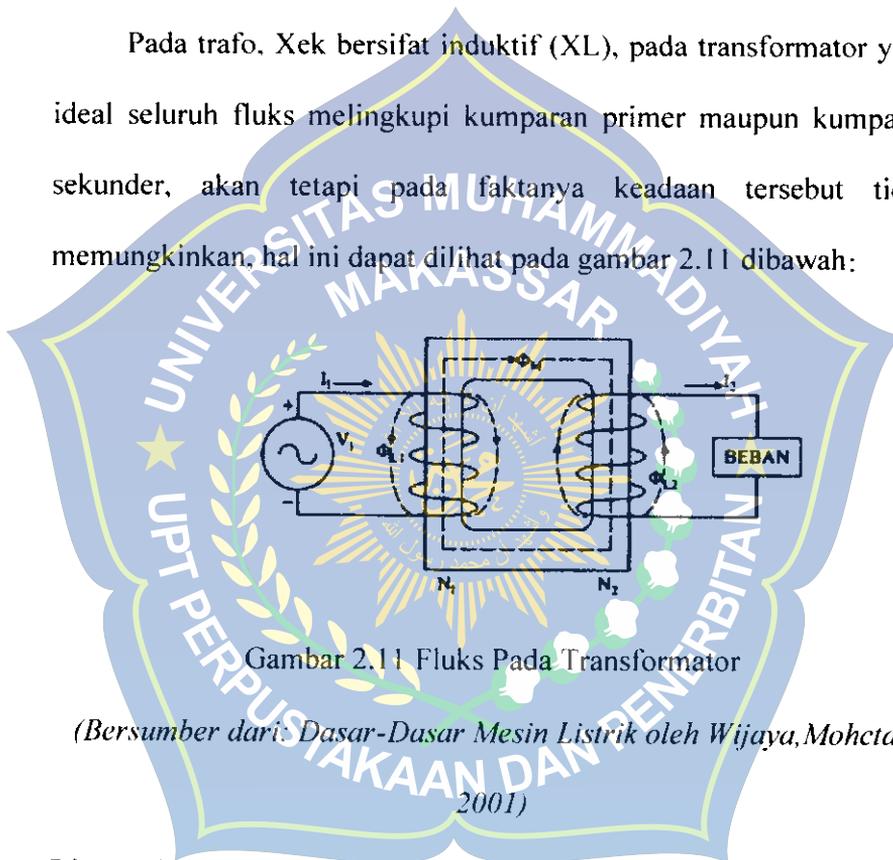
A. Percobaan Hubung Singkat

Diperkecilnya impedansi beban (Z_b) menjadi nol berarti hubung singkat. Hasil yang di dapatkan pada percobaan ini yaitu penentuan parameter reaktansi ekivalen (X_{ek}), impedansi ekivalen (Z_{ek}) dan juga tahanan ekivalen (R_{ek}). Jika dibandingkan dengan arus nominal nilai I_o dalam percobaan ini cenderung lebih kecil, oleh karena itu nilai I_o dapat di abaikan dalam percobaan ini.

Impedansi ekivalen (Z_{ek}), tahanan ekivalen (R_{ek}) dan reaktansi ekivalen (X_{ek}) bisa di tetapkan pada dua referensi dimana Z_{01} , R_{01} , dan juga X_{01} (untuk primer) sedangkan Z_{02} , R_{02} , dan X_{02} (untuk

sekunder) yang di sesuaikan pada titik alat ukur dalam percobaan hubung singkat pada sisi sekunder dan primer. Untuk mempermudah perbandingan besarnya parameter pada kedua sisi, serta mempermudah perhitungan maka parameter-parameter transformator tersebut berpatokan hanya pada satu sisi.

Pada trafo, Xek bersifat induktif (XL), pada transformator yang ideal seluruh fluks melingkupi kumparan primer maupun kumparan sekunder, akan tetapi pada faktanya keadaan tersebut tidak memungkinkan, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.11 dibawah:



Gambar 2.11 Fluks Pada Transformator

(Bersumber dari: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Dirumuskan :

$$\Phi_1 = \Phi_M + \Phi_{L1}$$

$$\Phi_2 = \Phi_M + \Phi_{L2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

Φ_1 = Total fluks kumparan primer

Φ_2 = Total fluks kumparan sekunder

Φ_M = fluks yang melingkupi sisi primer dan sisi sekunder

Φ_{L1} = fluks yang bocor di sisi primer

Φ_{L2} = fluks yang bocor di sisi sekunder

Pada gambar 2.11 diketahui bahwa pengiriman energi secara magnetis pada sisi kumparan primer menuju kumparan sekunder efisiensinya tidak pernah mencapai 100%, hal tersebut karena terdapat rugi-rugi magnetis (*magnetic-leakage*). Sementara itu hubungan antara arus yang mengalir dengan ggl-induksi bisa di lihat pada gambar 2.12 dibawah:



Gambar 2.12 Rangkaian Ekuivalen Trafo Saat kondisi Terhubung Singkat

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar* 2001)

Dengan saling menyisipkannya (*interleaving*) antara kumparan primer dan sekunder maka rugi magnetis atau kebocoran magnetis (*magnetic leakage*) pada transformator bisa diperkecil.

Rugi-rugi pada transformator saat dalam keadaan hubung singkat dan tanpa beban (beban nol) tidak terngaruh oleh faktor daya, hal ini dapat kita lihat pada persamaan 2.12, 2.11 dan 2.10 diatas.

Akan tetapi rugi-rugi pada transformator dipengaruhi oleh tegangan, arus dan juga frekuensi, oleh karena itu rating pada transformator tidak dibuat dalam besaran kW melainkan dalam besaran kVA atau VA.

B. Karakteristik Transformator Terhubung Singkat

Diagram ekivalen pada transformator saat keadaan terhubung singkat bisa dijabarkan secara lengkap pada rangkaian primer dan rangkaian sekunder.



Gambar 2.13 Rangkaian Ekivalen Trafo Hubung Singkat dengan Rangkaian Primer sebagai Acuan

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Dimana:

$$I_1 = I_2' = \frac{I_2}{k}$$

$$E_1 = E_2' = E_2 \times k$$

$$R_2' = R_2 \times k^2$$

$$X_2' = X_2 \times k^2$$

$$V_2' = V_2 \times k$$

$$R_{01} = R_1 + R_2'$$

$$X_{01} = X_1 + X_2'$$

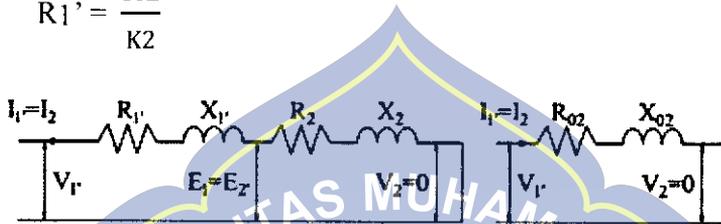
$$Z_{01} = \sqrt{R_{01}^2 + X_{01}^2} = Z_1 + Z_2' \dots\dots\dots(2.13)$$

Sementara itu acuan disisi sekunder yaitu:

$$I_1' = I_2 = I_1 \times k$$

$$E_1 = E_2' = \frac{E_1}{k}$$

$$R_1' = \frac{R_1}{k^2}$$



Gambar 2.14 Rangkaian Ekvivalen Trafo Hubung Singkat dengan Rangkaian Sekunder sebagai Acuan

(Bersumber dari: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar

2001)

Dimana:

$$I_1' = I_2 = \frac{I_1}{k}$$

$$E_1' = E_2 = E_1 \times k$$

$$R_1' = R_1 \times k^2$$

$$X_1' = X_1 \times k^2$$

$$V_1' = V_1 \times k$$

$$R_{02} = R_2 + R_1'$$

$$X_{02} = X_2 + X_1'$$

$$Z_{01} = \sqrt{R_{01}^2 + X_{01}^2} = Z_1 + Z_2' \dots\dots\dots(2.14)$$

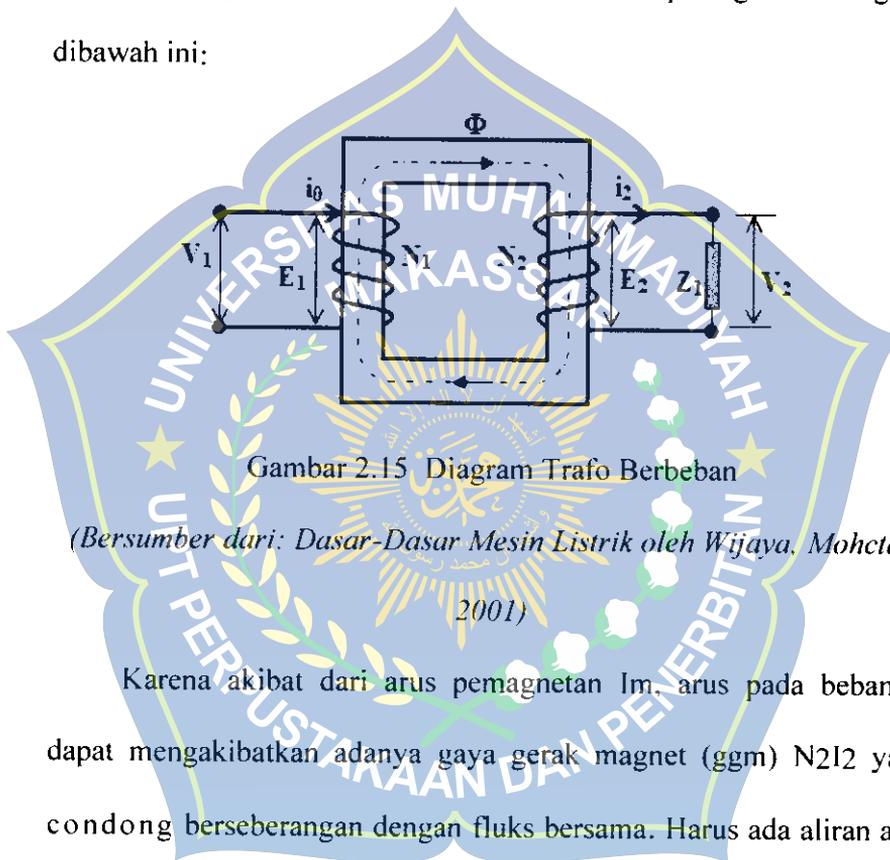
Pada umumnya jatuh tegangan transformator berpatokan pada arus

beban penuh dan dinyatakan dalam persentase (%).

2.7. Keadaan Transformator Berbeban

A. Umum

I_2 akan mengalir di kumparan sekunder saat kumparan sekunder dihubungkan pada beban Z_b , hal ini bisa di lihat pada gambar diagram dibawah ini:



Gambar 2.15 Diagram Trafo Berbeban

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Karena akibat dari arus pemagnetan I_m , arus pada beban I_2 dapat mengakibatkan adanya gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang condong berseberangan dengan fluks bersama. Harus ada aliran arus I_2 pada sisi primer agar fluks bersama tersebut nilainya tidak berubah, dimana arus tersebut yang menentang fluks yang telah di ciptakan oleh arus beban I_2 , sampai semua arus mengalir dalam kumparan primer, dirumuskan:

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

$I_0 = I_m$ apabila komponen pada arus rugi inti (IC) diabaikan, maka:

$$I_1 = I_m + I_2'$$

Agar fluks bersama tersebut nilainya tidak mengalami perubahan, maka sebesar ggm yang di ciptakan arus pemagnetan I_m saja, maka hubungan yang berlaku:

$$N_1 I_m = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$N_1 I_m = N_1 (I_m + I_2') - N_2 I_2$$

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.15)$$

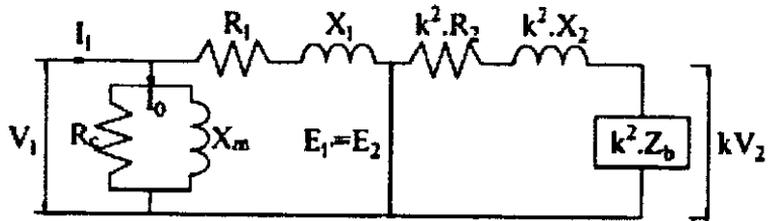
Sebab harga I_m dirasa kecil, maka $I_2' = I_1$.

B. Efek Arus Sekunder

Menerima transformator ideal, ketika tegangan berbeda periode V_1 diterapkan ke terminal esensial, gerakan pusat harus dihasilkan sedemikian rupa sehingga daya gerak listrik berlawanan E_1 setara dengan tegangan yang diberikan, dengan asumsi obstruksi loop tidak relevan ($V_1 = E_1$). Transisi ini juga diringkas oleh loop opsional dan memberikan daya gerak listrik E_2 dan tegangan terminal tambahan yang serupa ($V_2 = E_2$).

C. Rangkaian Ekuivalen dan Karakteristik

Rangkaian ekuivalen pada transformator berbeban dapat di rincikan dengan memmperhitungkan rugi-rugi dari percobaan hubung singkat dan beban nol, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.16 dibawah:



Gambar 2.16 Rangkaian Ekivalen Trafo Berbeban dengan sisi Primer sebagai Acuan

(Bersumber dari: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

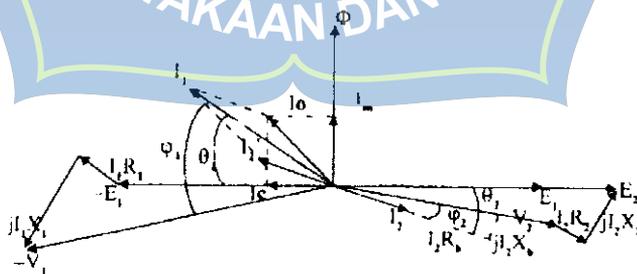
Dimana:

$$\text{Konduktansi (Gc)} = \frac{1}{R_c}$$

$$\text{Suseptansi (Bm)} = \frac{1}{X_m}$$

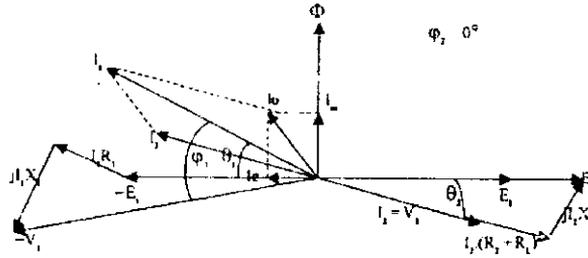
$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} = G_c (\text{konduktansi}) + B_m (\text{suseptansi}) \dots \dots \dots (2.16)$$

Berikut diagram vektor yang dibuat sesuai dengan rangkaian pada gambar 2.16:



Gambar 2.17 Diagram Vektor Trafo Dengan Beban Induktif

(Bersumber Dari: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)



Gambar 2.18 Diagram Vektor Trafo Dengan Beban Resistif

(Bersumber Dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar 2001)



Gambar 2.19 Diagram Vektor Trafo Dengan Beban Kapasitif

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar)

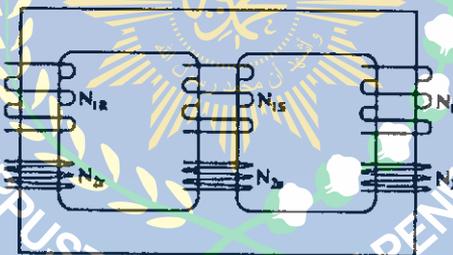
2.8. Transformator Tiga Fase

Pada tingkat dasar, trafo tiga tingkat sama dengan trafo soliter, hal yang membedakan adalah perbedaan antara rangka listrik tingkat soliter dan daya tiga tingkat, khususnya memahami rangka bintang (Y) dan segitiga (Δ), serta kerangka silang, dan selanjutnya kerangka nomor jam yang sangat meyakinkan untuk aktivitas yang sama dari transformator tiga tahap. Untuk memecah trafo daya tiga tingkat, diselesaikan dengan mempertimbangkan trafo 3 tingkat sebagai trafo 1 tingkat, strategi perhitungannya hampir sama, hanya untuk nilai terakhir, biasanya batas-

batas tertentu (arus, tegangan, dan gaya).) dari transformator 3 tahap berhubungan dengan nilai $\sqrt{3}$.

Trafo tiga fase dibuat untuk alasan keuangan, biayanya lebih murah karena bahan yang digunakan berada di bawah tiga trafo satu tingkat dengan ukuran gaya yang sama dengan satu trafo daya tiga tingkat, lebih ringan dan lebih sederhana membuatnya lebih mudah dipindahkan (mengurangi biaya pengiriman). , dan untuk menanganinya hanya satu transformator yang perlu dipertimbangkan (mempermudah kerja pendukung). (Wijaya, 2001)

Dibawah ini adalah contoh konstruksi transformator 3 fasa dengan inti tunggal:



Gambar 2.20 Transformator 3 Fasa dengan Inti Tunggal

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Wijaya, Mohctar 2001)

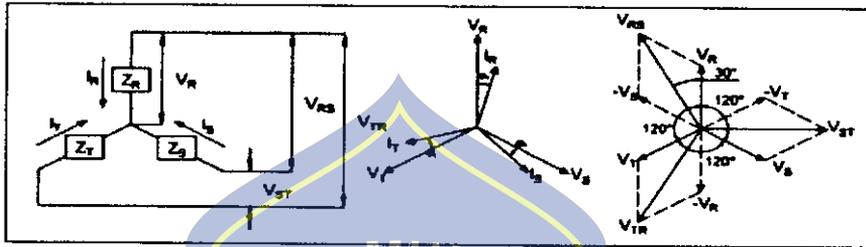
2.9. Hubungan Transformator Tiga Phasa

Umumnya hubungan transformator tiga fase terbagi dalam 2 jenis, yaitu:

A. Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang (Y) adalah asosiasi trafo tiga tahap, di mana

ujung awal dan akhir belitan disambung. Dimana titik penyambungan ujung belitan adalah titik yang tidak memihak. Trafo arus tiga fase dengan ikal terkait bintang pada khususnya; IR, IS, IT masing-masing bervariasi 120°.



Gambar 2.21 Transformator Tiga Fase Dengan Hubungan Bintang
(Bersumber dari : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya,

2001)

Penjumlahan vektor yang didapat dari gambar 2.21 yaitu:

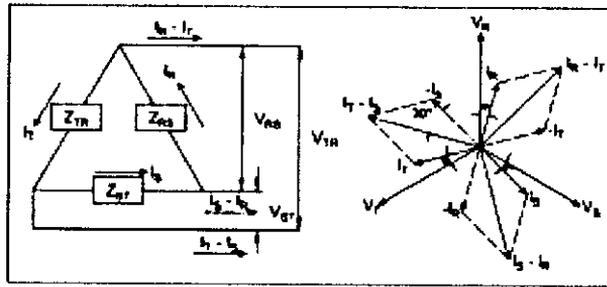
$$VRS = VR + (-VS) = VR - VS$$

Saat $VR = VS = VT = VFase = V_{ph}$, dimana :

$$VRS = 2 \cdot V_{ph} \cdot \cos(60^\circ/2) = \sqrt{3} V_{ph} \dots\dots\dots(2.17)$$

B. Hubungan Segitiga/Delta (Δ)

Hubungan segitiga yaitu hubungan transformator tiga tahap, di mana metode asosiasinya adalah bahwa ujung belitan tingkat primer dikaitkan dengan ujung awal belitan tingkat berikutnya. akhir tingkat kedua hingga awal tingkat ketiga. dan akhir dari tahap ketiga ke awal tahap utama. Trafo tegangan tiga tahap dengan loop terkait tiga sisi, khususnya; VR, Versus, VT dan masing-masing bervariasi 120°.



Gambar 2.22 Transformator Tiga Fase dengan Hubungan Delta (segitiga)

(Bersumber dari : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya.

2001)

Dilihat dari gambar di atas maka didapatkan persamaan, yaitu:

$$I_R = I_S = I_T = I_{ph};$$

$$I_S - I_R = 2 \times I_{ph} \times \cos(60^\circ - 2) = \sqrt{3} I_{ph}$$

$$I_R - I_T = \sqrt{3} I_{ph}$$

$$I_T - I_S = \sqrt{3} I_{ph}, \text{ sebab:}$$

$$I_S - I_R = I_R - I_T = I_T - I_S = I_L, \text{ maka: } I_L = \sqrt{3} I_{ph} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L$$

$$V_L = V_{ph}$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos \phi$$

2.10. Jenis - Jenis Hubungan Transformator Tiga Fase

Dalam prakteknya, belitan tiga fase yang ada di sisi primer dan sekunder bisa dihubungkan dengan berbagai cara, seperti hubungan bintang dan hubungan segitiga. dengan mengkombinasikan Y-Y, Y-Δ, Δ - Y, Δ -Δ, bahkan dalam beberapa kasus belitan sekunder dapat terhubung

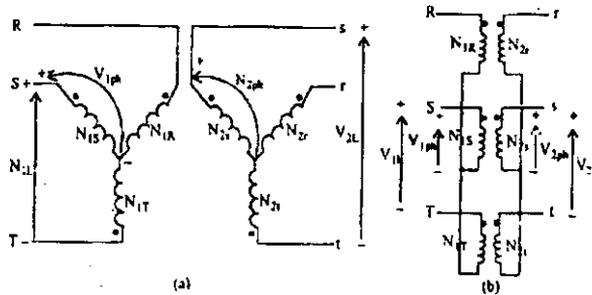
berliku-liku (zig-zag), sehingga didapatkan hubungan Y-Zigzag Y serta Δ -Zigzag Y. (Wijaya, 2001)

Hubungan zigza adalah asosiasi bintang yang "luar biasa", hubungan ini mengharapkan kejadian yang mungkin terjadi dengan asumsi bintang dengan tumpukan setiap tahap tidak disesuaikan. Pada umumnya gambar di atas digantikan dengan huruf kapital D, Y untuk loop esensial dan huruf kecil d, y, dan z untuk curl tambahan. Berikut ini adalah percakapan tentang hubungan keseluruhan transformator tiga fase:

A. Hubungan Wye-Wye (Y-Y)

Dalam hubungan bintang, proporsi tegangan tahap ke tahap (L-L) pada esensial dan opsional setara dengan proporsi setiap transformator. Akibatnya, ada pergeseran panggung 30° antara tegangan tidak bias panggung (LN) dan tegangan panggung (L-L) pada sisi esensial dan tambahan. Dalam asosiasi Y-Y, tegangan disetiap fase primer yaitu: $V_{1ph} = V_{1L}/\sqrt{3} \dots (2.19)$

Tegangan pada fase primer relatif terhadap tegangan fase tambahan dan proporsi belitan transformator, sehingga proporsi antara tegangan esensial dan tegangan opsional pada transformator asosiasi Y-Y yaitu:



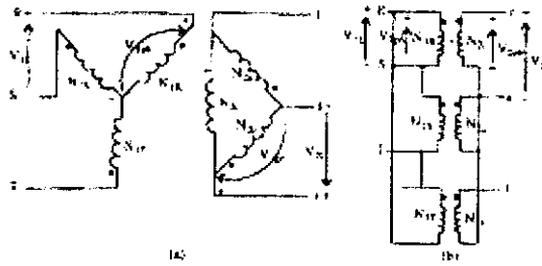
Gambar 2.23 Trafo Tiga Fase Dengan Hubungan Y-Y

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Mochtar Wijaya,

2001)

B. Hubungan Wye-Delta (Y- Δ)

Trafo penghubung Y- Δ , berfungsi untuk menaikkan tegangan pada system saluran transmisi. Proporsi antara tegangan tingkat ke tingkat tambahan dan esensial adalah 1/3 kali proporsi setiap transformator. Ada titik 30° antara tegangan fase antara esensial dan tambahan yang menyiratkan bahwa trafo Y- Δ tidak dapat disamakan dengan trafo Y-Y atau trafo Δ - Δ . Dalam hubungan ini tegangan kawat-ke-kabel sesuai dengan tegangan tahap esensial ($V_{IL} = 3 V_{1ph}$) dan tegangan kawat-ke-kawat opsional setara dengan tegangan tahap ($V_{2L} = V_{2ph}$), sehingga proporsi tegangan dalam Hubungan Y- Δ diperoleh:



Gambar 2.24 Trafo Tiga Fasa Dengan Hubungan Y- Δ

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Mochtar Wijaya, 2001)

C. Hubungan Delta-Wye (Δ -Y)

Trafo hubungan Δ -Y, difungsikan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan yang lebih rendah. Dalam asosiasi Δ -Y, tegangan kabel-ke-esensial setara dengan tegangan tahap esensial ($V_{1L} = V_{1ph}$), dan tegangan samping sekunder.



Gambar 2.25 Transformator Tiga Fase Dengan Hubungan Δ -Y

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Mochtar Wijaya, 2001)

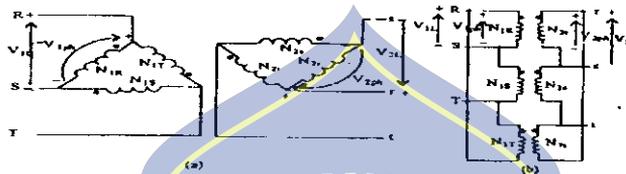
D. Hubungan Delta-Delta (Δ - Δ)

Dalam transformator hubungan delta-delta (Δ - Δ), sisi primer dan sekunder transformator memiliki tegangan yang sama antara kawat ke

kawat ($V_{RS} = V_{ST} = V_{TR}$), sehingga perbandingan dalam tegangannya yaitu:

$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = k \dots\dots\dots(2.20)$$

Sedangkan transformator hubungan delta-delta ($\Delta-\Delta$) arusnya adalah:



Gambar 2.26 Transformator Tiga Fase Hubungan Delta-Delta ($\Delta-\Delta$)

(Bersumber dari: *Dasar-Dasar Mesin Listrik* oleh Mochtar

Wijaya, 2001)

2.11. Bilangan Jam/Grup Vektor

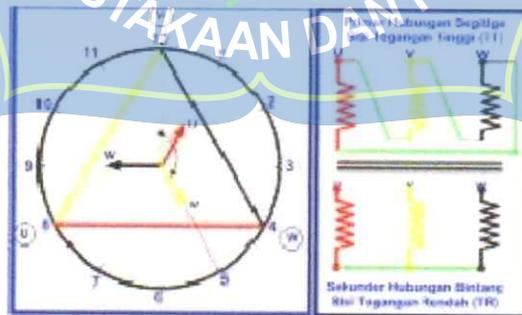
Selain dipisahkan menjadi sambungan-sambungan yang berbeda, sambungan-sambungan ini bahkan juga dipartisi menjadi beberapa jenis, yang ditunjukkan dengan besarnya perpindahan tahap, yang dikenal sebagai nomor jam. Pembagian tandan hubungan transformator tergantung pada penugasan vektor searah jarum jam. (Wijaya, 2001)

Beberapa patokan yang diambil dalam menentukan kelompok hubungan yaitu sebagai berikut:

- A. Dokumentasi untuk sambungan delta, bintang, dan silang adalah huruf kecil d, y, dan z untuk sisi tegangan rendah sedangkan D, Y pada sisi

tegangan tinggi dan.

- B. Dipakai penotasian U, V, W pada tegangan tinggi sedangkan u, v, w untuk tegangan rendah pada urutan fasa.
- C. Tegangan rendah dianggap sebagai tegangan sekunder sedangkan tegangan tinggi dianggap sebagai tegangan primer.
- D. Letak pada sisi kumparan primer terhadap sisi kumparan sekunder dinyatakan dalam bentuk angka jam.
- E. Jarum jam panjang dibuat berimpit dan selalu menunjuk pada angka 12 (disamakan) dengan vektor fasa V_L tegangan tinggi *line to line*.
- F. Sesuai dengan kondisi perbedaan fasenya, vektor fase tegangan rendah (u, v, w) dapat diilustrasikan, posisi vektor fasa v_L tegangan sekunder *line to line* menunjukkan kearah jarum jam yang pendek.
- G. Pergeseran antara fasa V dan v di gambarkan pada sudut jarum jam panjang dan pendek.



Gambar 2.27 Kelompok Hubungan jam Dy5

(Bersumber dari : Dasar Tenaga Listrik oleh Zuhal, 1982)

Agar lebih mudah, pada aktualisasinya pabrik-pabrik melakukan

pembatasan pada jumlah kelompok hubungan dengan membuat standarnisasi pada kelompok hubungan yang dirasa baku.

Peraturan standarnisasi jerman adalah yang banyak diikuti, yakni VDE 0532. Sedangkan kelompok hubungan yang disarankan untuk di berlakukan adalah Yy0, Dy5, Yd5, dan Yz5.

Tabel 2.1 Kelompok Hubungan sesuai dengan VDE 0532.

Angka Jari	Kelompok Hubungan	Tegangan Tinggi (E)	Tegangan Rendah (E)	Hubungan Lilitan II	Hubungan 3 lilitan 1R	Perbandingan
0	Dd0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dd0					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz5					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
6	Dd6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
11	Dy11					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$

2.12. Ketidakseimbangan Beban

Keadaan seimbang yang dimaksud yaitu keadaan dimana:

- a. Sama besar antara ketiga vector/tegangan.
- b. Masing-masing dari ketiga vector saling membentuk sudut 120° antara satu vector dengan vector yang lain

Sementara itu, keadaan tidak seimbang yang dimaksud yaitu saat tidak terpenuhinya salah satu atau dua syarat keadaan tidak seimbang. Ada 3 macam kemungkinan keadaan tidak seimbang, yaitu:

- a. Ketiga vektor tersebut tidak membentuk sudut 120° antara satu dengan yang lain meskipun ketiga vektor sama besar.
- b. Ketiga vektor sama-sama membentuk sudut 120° antara satu sama lain tetapi ketiga vektor tersebut tidak sama besar.
- c. Ketiga vektor tidak membentuk sudut 120° antara satu dengan yang lain dan juga ketiga vektor tersebut tidak sama besar.

2.13. Arus Netral

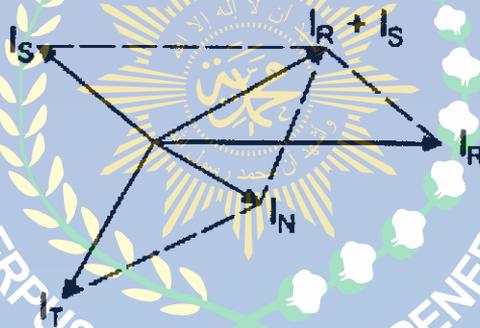
Pada sistem distribusi tenaga listrik, arus netral di ketahui sebagai aliran arus pada kawat penghantar arus netral pada sistem distribusi betegangan rendah tiga fase dengan empat kawat. Arus netral uncul apabila: (Indrakoesoema, 2012)

- a. Ketidak seimbangan pada kondisi beban.
- b. Adanya beban non-linear yang menyebabkan terjadinya arus

harmonisasi.

Aliran arus pada kawat penghantar netral dan juga merupakan arus bolak-balik yang di peruntukkan pada sistem distribusi tiga fase dengan empat kawat penghantar netral yaitu penjumlahan dari ketiga arus fase pada vektor dalam komponen seimbang. Karena adanya pembebanan pada setiap fase yang tidak seimbang, terjadi aliran arus pada kawat penghantar netral. Saat dialiri arus dan terdapat nilai tahanan pada pentanahan netral, akan muncul tegangan pada kawat penghantar netral dan menimbulkan ketidak seimbangan tegangan pada trafo.

$$I_N = \sqrt{I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 - I_R \cdot I_S - I_R \cdot I_T - I_S \cdot I_T} \dots\dots\dots(2.21)$$



Gambar 2.28 Diagram Fasor Ketidakseimbangan Pada Arus Disistem Tenaga Listrik Tiga fase

(Bersumber dari : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

Adanya aliran arus pada kawat penghantar netral mengakibatkan terjadinya rugi daya pada kawat penghantar netral sebesar:

$$P_N = I_N \times R_N \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

PN = yaitu losses yang muncul di penghantar netral (watt)

IN = Aliran Arus yang melewati kawat penghantar netral (Ampere)

RN = Tahanan di kawat penghantar netral (Ohm)

2.14. Daya listrik

a) Daya Aktif (P)

Daya Daya yang digunakan untuk melakukan energi sebenarnya disebut daya aktif dan satuannya adalah watt. Untuk mendapatkan nilai daya aktif pada sistem satu fase digunakan persamaan yaitu:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

P=Yaitu Daya Aktif (W)

V=Tegangan (V)

I= Arus (A)

Cos φ =Faktor Daya

Untuk mendapatkan nilai aktif pada sistem tiga fase digunakan persamaan yaitu:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

P=Daya Aktif (W)

V=Tegangan (V)

I= Arus (A)

Cos φ =Faktor Daya

b) Daya Reaktif (Q)

Daya Total daya yang dibutuhkan dalam pembentukan medan magnet disebut daya reaktif. Fluks medan magnet tercipta dari pembentukan medan magnet. Motor, lampu pijar, transformator adalah contoh daya yang menimbulkan daya reaktif dengan satuan daya reaktif yaitu *volt ampere reactive* (VAR).

Pada sistem satu fase, untuk mendapatkan nilai daya reaktif digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif(VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Pada sistem tiga fase, untuk mendapatkan nilai daya reaktif digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :

Q=Daya reaktif (VAR)

V=Tegangan (V)

I = Arus (A)

c) Daya Semu (S)

Daya hasil perkalian dari tegangan *root mean square* (rms) Daya semu yaitu daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan *root mean square* (rms) dan juga arus rms pada suatu jaringan atau daya yang termasuk hasil penjumlahan dari trigonometri daya aktif (P) dan juga daya reaktif (Q) disebut daya semu (S). Satuannya yaitu *volt ampere* (VA).

Pada sistem satu fase, untuk mendapatkan nilai daya semu digunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

S=Daya Semu (VA)

P=Daya Aktif (W)

Q=Daya reaktif (VAR)

V=Tegangan (V)

I=Arus (A)

Pada sistem tiga fase, untuk mendapatkan nilai daya semu digunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (W)

$Q = \text{Daya reaktif (VAR)}$

$V = \text{Tegangan (V)}$

$I = \text{Arus (A)}$

d) Faktor Daya

Perbandingan antara daya aktif (watt) dan daya total/daya semu (VA) atau juga nilai \cos sudut antara daya aktif dengan daya total/daya semu disebut dengan faktor daya. Tingginya nilai daya reaktif akan meningkatkan nilai *cosinus* sudut sehingga faktor daya menjadi lebih rendah. Faktor daya nilainya selalu kecil atau sama dengan satu.



Gambar 2.29 Segitiga daya

Persamaan faktor daya adalah sebagai berikut:

$$\text{Faktor daya} = \cos\varphi = \frac{P (KW)}{S (KW)} \dots\dots\dots (2.29)$$

Persamaan yang digunakan pada sistem tiga fase yaitu:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi,$$

$$P = S \times \text{Cos } \varphi$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana:

$\text{Cos } \varphi = \text{Faktor Daya}$

P = Daya aktif (KW)

S = Daya semu (KVA)

2.15. Rugi-rugi Transformator

Rugi Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga

$PCU = I^2R$. Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 \dots \dots \dots (2.31)$$

$$P_{cu} = I_2^2 R_2 \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan demikian rugi tembaga total :

$$\begin{aligned} P_{cu} &= P_{cu1} + P_{cu2} \\ &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \dots \dots \dots (2.33) \end{aligned}$$

Karena $I_2 = a I_1$, maka persamaan dapat juga ditulis dengan

$$\begin{aligned} P_{cu} &= I_1^2 R_1 + (a I_1)^2 R_2 \\ &= I_1^2 (R_1 + a^2 R_2) \\ &= I_1^2 R_{ek1} \end{aligned}$$

Atau dapat ditulis

$$P_{cu} = I_2^2 R_{ek} \dots \dots \dots (2.34)$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah:

$$P_{rugi\ total} = \text{Rugi-rugi Cu} + \text{Rugi} \dots \dots \dots (2.35)$$

Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan

dengan persamaan:

$$P_{I2} = \left(\frac{S2}{S1} \right)^2 \times P_{I1} \dots\dots\dots(2.36)$$

Keterangan:

P_{I2} = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan

P_{I1} = Rugi-rugi tembaga beban penuh.

$S2$ = Beban yang dioperasikan

$S1$ = Nilai pengenalan

2.16. Efisiensi Transformator

Sama halnya dengan peralatan listrik yang umum, efisiensi transformator yang ada pada beban dan faktor daya diartikan sebagai *output* (keluaran) dibagi dengan *input* (masukan), dan diukur dengan satuan yang sama (Baik itu watt atau juga kilowatt) (Theraja BL,1978)

$$\eta (\%) = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana:

$$P_{In} = P_{Out} + \sum P_{Rugi}$$

Dengan memasukkan nilai input dan output saja efisiensi transformator akan tinggi dan memiliki kerugian yang sedikit, hal ini tentu saja tidak praktis. Sehingga penentuan kerugian pada perhitungan efisiensi transformator itu diperlukan.

$$\eta (\%) = P_{Out} + \sum P_{Rugi}$$

$$\sum P_{\text{Rugi}} = P_i + P_t$$

Dimana:

P_i = Rugi-rugi besi (Watt)

P_t = Rugi-rugi tembaga (Watt)

Dimana

$$P_{\text{out}} = V_2 \times I_2 \times \cos\theta_2 \dots\dots\dots (2.38)$$

Sehingga perhitungan besar nilai pada efisiensi transformator dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + \Sigma \text{ rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana:

P_o = daya output

Σ rugi = Rugi total

Sehingga dapat kita lihat pada gambar dibawah bahwa dari efisiensi terhadap faktor daya akan bervariasi.



Gambar 2.30 Variasi efisiensi pada faktor daya

(Bersumber dari: *A Text-book of Electrical Technology by Theraja*

BL.,1978)

2.17. Regulasi Tegangan Transformator

Saat tegangan primer yang konstan membebani transformator, saat memiliki faktor daya leading maka tegangan akan bertambah dan saat memiliki faktor daya lagging maka tegangan sekunder akan berkurang. Ini disebabkan karena terjadinya kebocoran reaktansi dan hambatan internal. (Theraja, 1978).

Perubahan tegangan sekunder dari tanpa beban ke beban penuh = $V_{NL} - V_{FL}$. Dikenal sebagai regulasi “turun” Perubahan tersebut dibagi oleh V_{NL} . Sedangkan regulasi “naik” terjadi Jika perubahan ini dibagi oleh V_{FL} (tegangan sekunder pada beban penuh).

$$\%VR(\text{regulasi turun}) = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\%$$

$$\%VR(\text{regulasi naik}) = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.40)$$

IEC atau *international electrotechnical commission* digunakan sebagai standar regulasi tegangan pada transformator sehingga dapat diterima ataupun tidak. Adapaun maksimum batas regulasi tegangan pada trafo menurut IEC 60076 yaitu:

1. Untuk transformator satu fase sebesar 2,5% dengan kapasitas nilainya diatas 5 kVA dan nilai kapasitas untuk transformator 3 fase lebih dari 15 kVA.
2. Untuk transformator satu fase 5% dengan kapasitas nilainya mencapai 5 kVA dan nilai kapasitas untuk trafo tiga fase mencapai 15 kVA.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Umum

Secara umum metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah mempelajari materi dari buku, *ebook*, jurnal, maupun artikel yang didapat dari internet yang berkaitan dengan materi tugas akhir ini.

a. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diambil dari lokasi penelitian yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini dengan melakukan observasi, wawancara kepada pihak-pihak yang bersangkutan dengan masalah yang diteliti serta dokumentasi.

b. Pengolahan Data

Setelah data diperoleh, maka data tersebut akan diolah melalui proses perhitungan manual.

c. Menganalisis Data

Menganalisis perbandingan data hasil perhitungan dengan data yang ada pada lokasi penelitian.

d. Metode Bimbingan/Konsultasi

Melakukan konsultasi atau diskusi tentang topik tugas akhir yang akan dibahas dengan dosen pembimbing.

e. Menarik Kesimpulan

Berisi kesimpulan yang didapat dari analisa data perhitungan yang telah dilakukan.

3.2. Tempat Pengujian

Tempat pengujian penelitian bertempat di Gardu Induk PLN, Sungguminasa. Penelitian dilaksanakan setelah proposal, diseminarkan dan juga telah disetujui.

3.3. Studi Literatur

Mempelajari dasar-dasar serta melakukan studi literatur tentang transformator tiga fase menjadi konsentrasi utama pada tahap ini, dengan melakukan hal tersebut maka akan diperoleh tata cara dalam pengambilan data serta analisa yang baik dan tepat tentang tugas akhir yang di kerjakan, adapun sumber dari studi literatur bisa diambil dari berbagai sumber seperti buku teknik, buku manual transformator tiga fase, ataupun jurnal yang terkait dengan tema tugas akhir.

3.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan penelitian langsung dilapangan dengan memperhatikan variabel yang ada pada alat ukur maupun pada variabel yang ada pada alat yang akan diukur, hal ini dibutuhkan guna melengkapi data-data yang diperlukan untuk mendapatkan hasil dari analisa yang dilakukan.

Adapun hal-hal yang diperlukan dalam melakukan analisa seperti variable apa saja yang akan di amati, bagaimana tahapan pengujiannya, serta alat dan bahan yang diperlukan dalam proses pengumpulan data yaitu sebagai berikut:

a. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini bahan atau peralatan yang digunakan adalah transformator tiga fase, alat ukur, ataupun peralatan-peralatan lain yang di perlukan dalam proses penelitian pada Gardu Induk PLN. Sungguminasa.

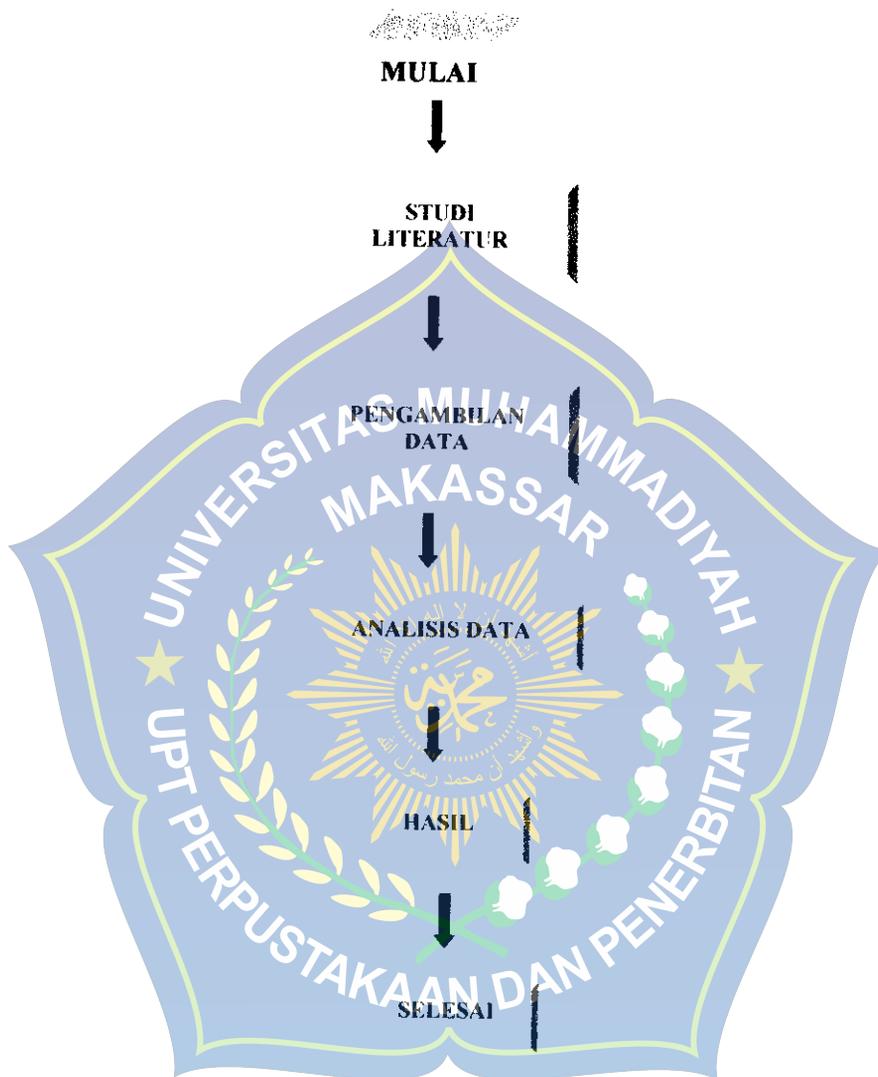
b. Variabel yang diamati

Adapun fokus pengamatan pada penelitian ini yaitu:

1. Nilai $\cos \phi$ pada pengukur KWH meter utama
2. Nameplate trafo
3. Tegangan
4. Arus di sisi *output* pada saat beban puncak.
5. Beban pada saat beban puncak.
6. Daya yang ada pada sistem.



c. Tahapan Pengujian

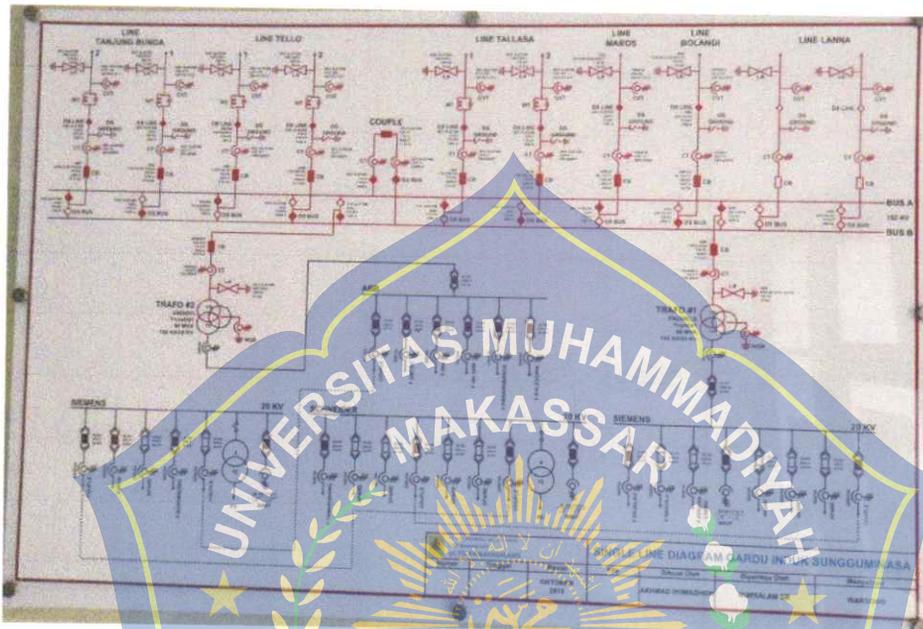


Gambar 3.1 Bagan Alir

BAB IV

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Single Line Diagram



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* Gardu Induk Sungguminasa

- A. Dari Gambar *Single Line Diagram* Gardu Induk Sungguminasa dapat dilihat ada 2 (dua) Busbar yang menerima dan menyalurkan tenaga listrik ke line Tanjung Bunga, Line Tello, Line Tallasa, Line Maros, Line Bolangi dan Line Lanna.

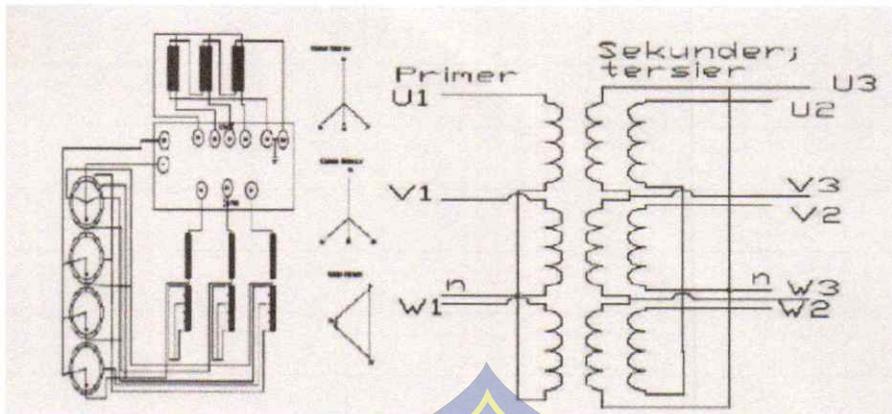
Busbar merupakan susunan konduktor berupa pelat tembaga atau aluminium yang digunakan dalam sebuah panel kelistrikan untuk mendistribusikan atau menghantarkan energi listrik sesuai keperluan dan kapasitas suatu sumber. Pada umumnya bentuk busbar seperti penampang tembaga persegi panjang ataupun yang berbentuk tabung dengan ukuran cukup tebal agar bisa menghantarkan arus yang besar.

pengaturan busbar tergantung dari kebutuhan instalasi, tegangan voltase sistem power listrik, posisi gardu dan faktor biaya.

B. Transformator Tiga Fase

Jenis pendingin	ONAN/ONAF
Daya pengenal	40/60 MVA
Tegangan pengenal	150/20 kV
Tegangan tertinggi sistem	170/24/kv
Daya acuan	30 + 60 + 60 MVA
Frekuensi	50 Hz
Tipe	3
Tegangan impedansi	12.5%
Hubungan	Star-star
Lambang hubungan	Yyn0d1
Standar	EC 60076

Gambar di bawah menunjukkan 3 belitan wye rangkaian (1u, 1v, dan 1w) sedangkan wye rangkaian (2u, 2v, dan 2w) dan juga belitan delta (3u, 3v, dan 3w). transformator tiga fase juga memiliki kumparan tersier yang juga aktif dimanfaatkan untuk koreksi fador daya selain itu juga sebagai pengatur tegangan. Ada beberapa *tools* yang digunakan untuk melakukan koreksi adalah kondensor sinkronisasi, kapasitor *shunt* dan reactor *shunt*.



Gambar 4.2 Rangkaian Trafo 3 Fase

C. Data pembebanan Trafo 1 dan Trafo 2

Table 4.1. Data arus beban puncak trafo 1 siang

Tanggal	Tegangan		Daya		Arus A
	kV	MW	MVAR		
1	20.3	13.2	4.6		392
2	20.5	12.8	4.5		384
3	20.4	12.6	4.3		380
4	20.2	12.6	4.3		378
5	20.1	12.3	4.1		374
6	20.5	12.7	4.5		382
7	20.2	12.4	4.2		377
8	20.3	13.1	4.5		393
9	20.3	13.1	4.1		433
10	20.4	14.1	4.9		426

Table 4.2. Data arus beban puncak trafo 2 siang

Tanggal	Tegangan		Daya		Arus A
	kV	MW	MVAR		
1	20.4	21.4	6.7		631
2	20.4	19.6	6.2		561
3	20.3	17.6	5.4		525
4	20.2	12.6	4.3		378
5	20.3	20.5	6.3		606
6	20.4	20.5	6.3		608
7	20.5	20.5	6.2		599
8	20.3	21	6.4		624
9	20.4	18.1	5.1		578
10	20.3	17.7	5.4		527

Table 4.3. Data arus beban trafo 1 malam

Tanggal	Tegangan	Daya		Arus
	kV	MW	MVAR	A
1	20.7	17.5	3.8	499
2	20.4	17.1	3.6	490
3	20.5	17.4	5.8	488
4	20.5	17.2	3.5	495
5	20.6	17.2	3.6	498
6	20.3	16.9	3.5	488
7	20.2	17.7	3.7	514
8	20.6	19.3	4	556
9	20.6	19.3	4.2	556
10	20.4	17.3	3.7	492

Table 4.4. Data arus beban trafo 2 malam

Tanggal	Tegangan	Daya		Arus
	kV	MW	MVAR	A
1	20.6	25.1	5	719
2	20.5	24.6	4.6	704
3	20.6	23.5	4.5	669
4	20.5	25.2	4.8	723
5	20.5	25.4	4.9	729
6	20.5	25	4.6	713
7	20.4	25.9	4.9	745
8	20.7	25.4	4.9	729
9	20.4	24.7	4.6	714
10	20.5	24.5	4.8	698

D. Pengukuran Sisi Incoming 150 KV

A. Periode 1 September 2021

Tabel 4.5 Pengukuran Sisi *Incoming* 1 September 2021

GISUNGGUMINASA	STAN KWH METER					HASIL KALI	
	TERIMA (IMPOR)		KIRIM (EKSPOR)		FAKTOR KALI	TERIMA (IMP)	KIRIM (EKP)
	AKHIR JAM 10.00	AWAL JAM 10.00	AKHIR JAM 10.00	AWAL JAM 10.00			
T. BUNGA LINE 1	3.240.896,00	2.673.104,00	2.435.400,00	2.435.400,00	10,000,00	5.677.920.000,00	-
T. BUNGA LINE 2	3.579.696,00	3.011.200,00	2.445.600,00	2.445.600,00	10,000,00	5.684.960.000,00	-
TELLO LINE 1	70.760,20	70.759,60	810.249,20	810.028,40	10,000,00	6.000,00	2.208.000,00
TELLO LINE 2	68.513,00	68.512,50	89.736,10	809.517,40	10,000,00	5.000,00	(7.197.813.000,00)
TALLASA LINE 1	658,49	658,49	7.505.765,55	7.504.002,32	1,00	-	1.763,23
TALLASA LINE 2	1.163.603,92	1.161.841,52	6.349.597,08	6.349.597,08	1,00	1.762,40	-
BOLANGI LINE 1	210.155,41	2.165.234,64	2.165.381,61	155,41	1,00	(1.955.079,22)	2.165.226,20
MAROS LINE 2	2.415.518,00	2.415.018,89	53.106.310,04	53.106,31	1,00	499,11	53.053.203,73
KWH WILAYAH INCOMING	287.565,08	287.076,06	20.472,40	20.466,28	1,00	-	6,12
PARAMBANUA	2,11	2,11	69.493,70	69.490,96	1.000,00	-	102.738,00
GMTDC	192,47	192,47	590.568,54	590.490,21	1.000,00	-	78.329,00
KALEGOWA	0,44	0,44	284.825,22	284.740,20	1.000,00	-	85.025,00
R R I	0,99	0,99	753.676,16	753.581,82	1.000,00	-	94.337,00
GH. SGMINASA	1,49	1,49	401.511,37	401.386,29	1.000,00	-	125.078,00
TOTAL						489,02	485.507,00
						SUSUT GISUNGGUMINASA (KWH)	
							(485.017,98)
							SUSUT GISUNGGUNASA (%)
							(1,00)

B. Periode 7 September 2021

Tabel 4.6 Pengukuran Sisi *Incoming* 7 September 2021

GI SUNGGUMINASA	STAN KWH METER					HASIL KALI	
	TERIMA (IMPOR)		KIRIM (EKSPOR)		FAKTOR KALI	TERIMA (IMP)	KIRIM (EKP)
	AKHIR JAM 10.00	AWAL JAM 10.00	AKHIR JAM 10.00	AWAL JAM 10.00			
T. BUNGA LINE 1	6.593.000,00	5.963.800,00	2.435.400,00	2.435.400,00	10,000	6.292.000.000,00	-
T. BUNGA LINE 2	6.936.400,00	6.306.200,00	2.445.600,00	2.445.600,00	10,000	6.302.000.000,00	-
TELLO LINE 1	70.760,30	70.760,30	8.115.144,00	811.289,00	10,000	-	73.038.550.000,00
TELLO LINE 2	68.513,00	68.513,00	810.989,00	810.766,20	10,000	-	2.228.000,00
TALLASA LINE 1	658,49	658,49	7.516.038,37	7.514.201,76	1,00	-	1.836,62
TALLASA LINE 2	1.173.885,97	1.172.048,58	6.349.597,08	6.349.597,08	1,00	1.837,39	-
BOLANGI LINE 1	2.166.050,97	2.165.975,25	210.294,57	210.252,24	1,00	75,72	42,33
MAROS LINE 2	2.418.149,00	2.417.757,58	53.106,31	53.106,31	1,00	391,42	-
KWH WILAYAH INCOMING	290.332,00	289.861,41	20.511,01	20.504,55	1	-	6,46
PARAMBANUA	2,11	2,11	70.061,16	69.967,94	1.000	470,59	-
GMTDC	192,48	192,48	591.029,95	590.952,33	1.000	-	93.223,00
KALEGOWA	0,45	0,45	285.291,27	285.207,79	1.000	-	77.621,00
R R I	1,00	1,00	754.220,10	754.127,19	1.000	-	83.477,00
GH. SGMINASA	1,50	1,50	402.219,45	402.098,97	1.000	-	92.909,00
TOTAL						470,59	467.712,00
						SUSUT GISUNGGUMINASA (KWH)	
							(467.241,41)
							SUSUT GISUNGGUNASA (%)
							(1,00)

C. Periode 10 September 2021

Tabel 4.7 Pengukuran Sisi *Incoming* 10 September 2021

GI SUNGGU MINASA	TERIMA (IMPOR)		KIRIM (EKSPOR)		FAKTOR KALI	HASIL KALI	
	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL		TERIMA (IMP)	KIRIM (EKP)
	JAM 10.00	JAM 10.00	JAM 10.00	JAM 10.00			
T. BUNGA LINE 1	8.436.800,00	7.837.400,00	2.435.400,00	2.435.400,00	10,000,00	5.994.000.000,00	-
T. BUNGA LINE 2	8.782.096,00	8.181.600,00	2.445.600,00	2.445.600,00	10,000,00	6.004.960.000,00	-
TELLO LINE 1	70.760,30	70.760,30	812.202,20	811.973,80	10,000,00	-	2.284.000,00
TELLO LINE 2	68.513,00	68.513,00	811.670,10	811.445,10	10,000,00	-	2.250.000,00
TALLASA LINE 1	658,49	658,49	7.521.455,74	7.519.647,72	1,00	-	1.808,03
TALLASA LINE 2	1.179.307,71	1.177.495,24	6.349.597,08	6.349.597,08	1,00	1.812,48	-
BOLANGI LINE 1	2.166.389,61	2.166.272,49	210.333,60	210.323,52	1,00	117,12	10,08
MAROS LINE 2	2.419.039,36	2.419.039,36	53.106,31	53.106,31	1,00	-	-
KWH WILAYAH			20.530,36	20.523,68	1,00	-	6,67
INCOMING	291.740,56	291.254,97	0,00	0,00	1,00	485,59	-
PARAMBANUA	2,11	2,11	70.335,18	70.236,98	1,000,00	-	98.199,00
GMTDC	192,48	192,48	591.262,39	591.182,81	1,000,00	-	79.582,00
KALEGOWA	0,45	0,45	285.542,65	285.457,39	1,000,00	-	85.263,00
R R I	1,00	1,00	754.498,48	754.403,22	1,000,00	-	95.253,00
GH. SGMINASA	1,50	1,50	402.583,28	402.458,85	1,000,00	-	124.429,00
TOTAL						485,59	482.726,00
						SUSUT GI SUNGGU MINASA (KWH)	(482.240,41)
						SUSUT GI SUNGGU NASA (%)	(1,00)

D. Periode 15 September 2021

Tabel 4.8 Pengukuran Sisi *Incoming* 15 September 2021

GI SUNGGUMINASA	TERIMA (IMPOR)		KIRIM (EKSPOR)		FAKTOR KALI	HASIL KALI	
	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL		TERIMA (IMP)	KIRIM (EKP)
	JAM 10.00	JAM 10.00	JAM 10.00	JAM 10.00			
T. BUNGA LINE 1	7,70	7,70	151.470,90	151.423,40	10,000	-	475.000,00
T. BUNGA LINE 2	9,20	9,20	197.246,30	197.199,50	10,000	-	468.000,00
TELLO LINE 1	70.759,60	70.759,60	728.564,40	728.313,50	10,000	-	2.509.000,00
TELLO LINE 2	68.512,50	68.512,50	728.067,10	727.819,50	10,000	-	2.476.000,00
TALLASA LINE 1	541,81	541,81	6.797.559,84	6.794.288,51	1,00	-	3.271,33
TALLASA LINE 2	454.349,96	451.078,64	6.349.479,08	6.349.479,08	1,00	3.271,33	-
BOLANGI LINE 1	2.148.000,17	2.147.982,67	106.624,75	106.551,83	1,00	17,50	72,93
MAROS LINE 2	2.349.701,70	2.349.385,10	25.497,16	25.497,16	1,00	316,60	-
KWH WILAYAH			18.373,96	18.367,86	1	-	6,10
INCOMING	134.777,41	134.333,08	0,00	0,00	1	444,33	-
PARAMBANUA	2,11	2,11	43.966,75	43.886,56	1,000	-	80.190,00
GMTDC	192,47	192,47	560.556,19	560.465,64	1,000	-	90.547,00
KALEGOWA	0,44	0,44	257.066,79	256.986,04	1,000	-	80.755,00
R R I	0,99	0,99	719.988,22	719.879,76	1,000	-	108.466,00
GH. SGMINASA	1,49	1,49	366.886,02	366.807,43	1,000	-	78.587,00
TOTAL						444,33	438.545,00
						SUSUT GI SUNGGUMINASA (KWH)	(438.100,67)
						SUSUT GI SUNGGU NASA (%)	(1,00)

4.2 Analisa Daya

Perhitungan daya dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dengan memperhatikan data ampere yang tertinggi dan yang terendah, maka dengan menggunakan persamaan (2.28) sehingga akan didapat besar daya, sebagai contoh untuk pembebanan transformator 1 saat beban tertinggi siang dengan mengambil data pada table 4.1

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (MVA)}$$

$$S = \sqrt{3} \times 20,3 \text{ kV} \times 0,392 \text{ MVA}$$

$$S = 13,8 \text{ MVA}$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari $\cos \Phi$ dapat diitung dengan persamaan (2.29):

$$\cos \Phi = \frac{P \text{ (MW)}}{S \text{ (MVA)}}$$

$$\cos \Phi = \frac{13,2 \text{ (MW)}}{13,8 \text{ (MVA)}}$$

$$\cos \Phi = 0,957$$

4.3 Rugi Inti dan Rugi Tembaga

Rugi inti memiliki nilai tetap (*fixed losses*). Besarnya beban tidak mempengaruhi nilai pada rugi inti (rugi beban nol). Data yang didapatkan diperusahaan saat melakukan observasi diketahui bahwa transformator 1 dan transformator 2 sama-sama memiliki rugi inti 38 kW (pada nameplate

transformator) karena kedua trafo tersebut jenisnya dan spesifikasinya sama dan juga rugi tembaga pada saat beban penuh 220 kW.

4.4 Rugi Tembaga (P_{I2})

Rugi tembaga memiliki rugi yang tidak tetap (*variabel losses*), hal ini disebabkan oleh besarnya beban. Perubahan beban menyebabkan adanya perubahan arus yang terdapat pada kumparan transformator. Dengan menggunakan persamaan (2.36) agar mendapatkan rugi-rugi tembaga di setiap pembebanan, maka rugi tembaga dapat dihitung:

P_{I1} = Rugi tembaga beban penuh 220 KW

$$P_{I2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{I1}$$

$$P_{I2} = \left(\frac{13.800}{600000}\right)^2 \times 220 \text{ KW}$$

$$= 11,6 \text{ KW}$$

Rugi Total = Rugi Inti + Rugi Tembaga

$$= 38\text{KW} + 11,6\text{KW}$$

$$= 49,6 \text{ KW}$$

Daya Output yang dihasilkan oleh transformator dapat dihitung menggunakan persamaan (2.38), yaitu:

$$P_{out} = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\theta_2$$

$$P_{out} = 20,3 \text{ kV} \cdot 392 \text{ A} \cdot 0,957$$

$$P_{out} = 7,6 \text{ MW}$$

4.5 Efisiensi Transformator

Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.39):

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + \Sigma \text{ rugi}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7.600}{7.600 + 49,64} \times 100\%$$

$$\eta = 99,351\%$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung berupa daya semu (S), cos ϕ , Pcu, rugi total.

4.6 Pembebanan dan Efisiensi Transformator

A. Rata-Rata Pembebanan Tertinggi Siang trafo I

Table 4.9 pembebanan tertinggi siang Trafo I

Tgl	Teg	Daya		Arus	Daya semu	Cos ϕ	P ₁₂	P _{out}	R _{tot}	% η
	KV	MW	MVAR	A	MVA		KW	MW	KW	
1	20.3	13.2	4.6	392	13.8	0.957	11.6	7.6	49.6	99,351%
2	20.5	12.8	4.5	384	13.6	0.941	11.3	7.4	49.3	99,338%
3	20.4	12.6	4.3	380	13.4	0.940	11	7.3	49	99,333%
4	20.2	12.6	4.3	378	13.2	0.955	10.7	7.3	48.7	99,337%
5	20.1	12.3	4.1	374	13	0.946	10.3	7.1	48.3	99,324%
6	20.5	12.7	4.5	382	13.6	0.934	11.3	7.3	49.3	99,329%
7	20.2	12.4	4.2	377	13.2	0.939	10.7	7.2	48.7	99,328%
8	20.3	13.1	4.5	393	13.8	0.949	11.6	7.6	49.6	99,352%
9	20.3	13.1	4.1	433	15.2	0.862	14.1	7.6	52.1	99,319%
10	20.4	14.1	4.9	426	15.1	0.933	13.9	8.1	51.9	99,363%
Efisiensi rata-rata										99,337%

B. Rata-rata pembebanan tertinggi siang trafo 2

Tabel 4.10 Pembebanan Tertinggi Siang Trafo 2

Tgl	Teg	Daya		Arus	Daya semu	Cos	P ₁₂	P _{out}	R _{tot}	% η
	KV	MW	MVAR	A	MVA	φ	KW	MW	KW	
1	20.4	21.4	6.7	631	22.3	0,960	30.4	12.4	68.4	99,451%
2	20.4	19.6	6.2	561	19.8	0,989	24	11.3	62	99,454%
3	20.3	17.6	5.4	525	18.5	0,951	20.9	10.1	58.9	99,420%
4	20.2	12.6	4.3	378	13.2	0,955	10.8	7.3	48.8	99,336%
5	20.3	20.5	6.3	606	21.3	0,962	27.7	11.8	65.7	99,446%
6	20.4	20.5	6.3	608	21.5	0,953	28.2	11.8	66.2	99,442%
7	20.5	20.5	6.2	599	21.3	0,962	27.7	11.8	65.7	99,446%
8	20.3	21	6.4	624	21.9	0,959	29.3	12.1	67.3	99,447%
9	20.4	18.1	5.1	578	20.4	0,887	25.4	10.5	63.4	99,400%
10	20.3	17.7	5.4	527	18.5	0,957	20.9	10.2	58.9	99,526%
Efiensi rata-rata										99,437%

C. Rata-Rata Pembebanan Tertinggi malam trafo 1

Table 4.11 Pembebanan tertinggi malam Trafo 1

Tgl	Teg	Daya		Arus	Daya semu	Cos	P ₁₂	P _{out}	R _{tot}	% η
	KV	MW	MVAR	A	MVA	φ	KW	MW	KW	
1	20.7	17.5	3.8	499	17.9	0,978	19.6	10.1	57.6	99,433%
2	20.4	17.1	3.6	490	17.3	0,988	18.3	9.9	56.3	99,435%
3	20.5	17.4	5.8	488	17.3	0,994	18.3	9.9	56.3	99,435%
4	20.5	17.2	3.5	495	17.6	0,972	18.9	9.9	56.9	99,429%
5	20.6	17.2	3.6	498	17.8	0,966	19.4	9.9	57.4	99,424%
6	20.3	16.9	3.5	488	17.2	0,983	18.1	9.7	56.1	99,425%
7	20.2	17.7	3.7	514	18	0,983	19.8	10.2	57.8	99,437%
8	20.6	19.3	4	556	19.8	0,975	24	11.2	62	99,449%
9	20.6	19.3	4.2	556	19.8	0,975	24	11.2	62	99,449%
10	20.4	17.3	3.7	492	17.4	0,994	18.5	10	56.5	99,438%
Efiensi rata-rata										99,435%

D. Rata-rata Pembebanan tertinggi malam trafo 2

Table 4.12 Pembebanan tertinggi malam Trafo 2

Tgl	Teg	Daya		Arus	Daya semu	Cos φ	P ₁₂	P _{out}	R _{tot}	% η
	KV	MW	MVAR	A	MVA		KW	MW	KW	
1	20.6	25.1	5	719	25.7	0,977	40.4	14.5	78.4	99,462%
2	20.5	24.6	4.6	704	25	0,984	38.2	14.2	76.2	99,466%
3	20.6	23.5	4.5	669	23.9	0,983	35	13.5	73	99,462%
4	20.5	25.2	4.8	723	25.7	0,981	40.4	14.5	78.4	99,462%
5	20.5	25.4	4.9	729	25.9	0,981	41	14.7	79	99,465%
6	20.5	25	4.6	713	25.3	0,988	39.1	14.4	77.1	99,467%
7	20.4	25.9	4.9	745	26.3	0,985	42.3	15	80.3	99,468%
8	20.7	25.4	4.9	729	26.1	0,973	41.6	14.7	79.6	99,461%
9	20.4	24.7	4.6	714	25.2	0,980	38.8	14.3	76.8	99,466%
10	20.5	24.5	4.8	698	24.8	0,988	37.6	14.1	75.6	99,467%
Efeisiensi rata-rata										99,465%

4.7 Analisis Persentase pembebanan

Perhitungan persentase pembebanan transformator dilakukan dengan mengambil nilai daya tertinggi pada setiap pembebanan dari transformator 1 dan 2 baik pada saat pembebanan tertinggi siang maupun pembebanan tertinggi malam dimana:

- Pembebanan tertinggi TDI siang.

Beban tertinggi trafo = 15,2 MVA

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{15,2}{60} \times 100\% = 25 \%$$

Nilai efisiensi untuk pembebanan tersebut berdasarkan perhitungan adalah 99,319%

- Pembebanan tertinggi TD2 siang

Beban tertinggi trafo = 22.3 MVA

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{22,3}{60} \times 100\% = 37\%$$

Nilai efisiensi untuk pembebanan tersebut berdasarkan perhitungan adalah 99,451%

- Pembebanan tertinggi TD1 malam.

Beban tertinggi trafo = 19.8 MVA

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{19,8}{60} \times 100\% = 33\%$$

Nilai efisiensi untuk pembebanan tersebut berdasarkan perhitungan adalah 99,449%

- Pembebanan tertinggi TD2 malam.

Beban tertinggi trafo = 26.3 MVA

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{26,3}{60} \times 100\% = 44\%$$

Nilai efisiensi untuk pembebanan tersebut berdasarkan perhitungan adalah 99,468%

4.8 Analisis Hasil Penelitian

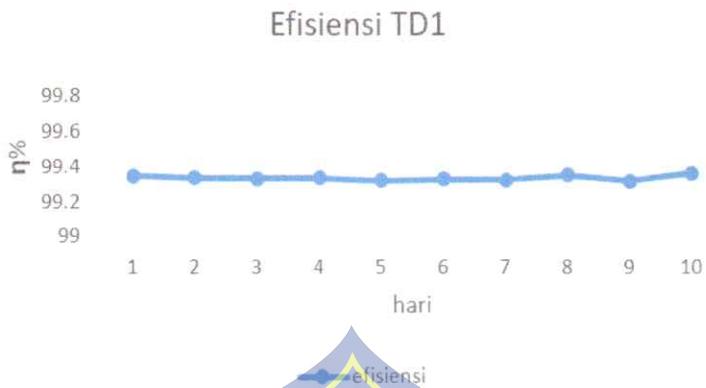
Dari hasil perhitungan untuk memudahkan dalam melakukan analisa telah disusun grafik yang menampilkan data untuk dijadikan bahan perbandingan, Adapun grafiknya sebagai berikut:

A. Grafik pembebanan tertinggi siang terhadap rugi dan efisiensi TD1



Gambar 4.3 Grafik Rugi Total TD1 Siang

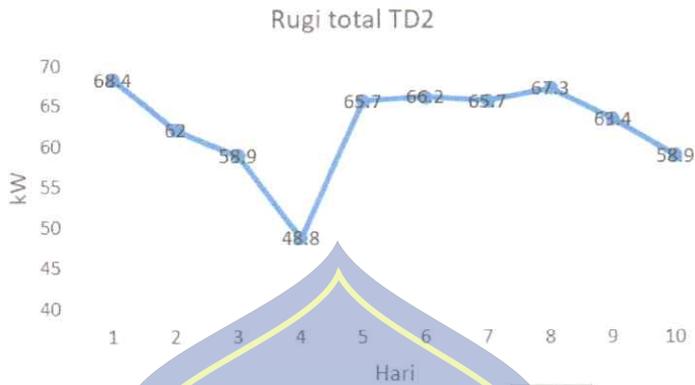
Gambar 4.4 Grafik Daya Output TD1 Siang



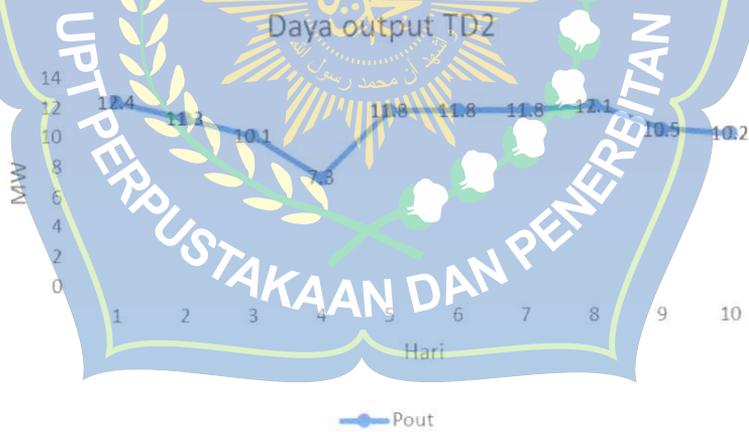
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi TD1 Siang Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.9

Dapat dilihat pada gambar 4.3 grafik rugi total berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.9, dimana rugi total terendah transformator 1 pada saat beban tertinggi siang sebesar 48,3 KW sedangkan rugi total tertingginya adalah 52,1 KW. Selisih nilai rugi total terendah dengan rugi total tertinggi tidak terlalu jauh karena hasil perhitungan dayanya memiliki selisih nilai yang tidak jauh juga. Sementara itu pada gambar 4.4 daya output terendah sebesar 7,1 MW dan daya output tertinggi sebesar 8,1 MW. Sedangkan untuk garis grafik efisiensi terendah dan tertinggi terlihat lurus karena selisih Pout dan Rugi total masing-masing pembebanan tidak terlalu jauh.

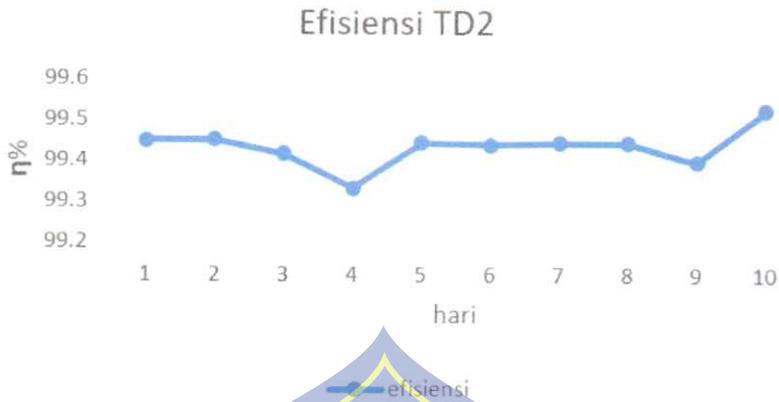
B. Grafik pembebanan tertinggi siang terhadap rugi dan efisiensi TD2



Gambar 4.6 Grafik Rugi Total TD2 Siang Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.10



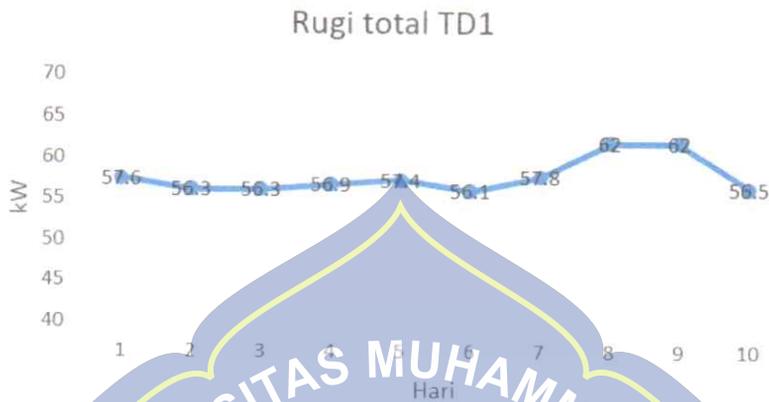
Gambar 4.7 Grafik Daya Output TD2 siang Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.10



Gambar 4.8 Grafik Efisiensi TD2 Siang Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.10

Dapat dilihat pada gambar 4.6 grafik rugi total berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.10, dimana rugi total terendah transformator 2 pada saat beban puncak sebesar 48.8 KW sedangkan rugi total tertingginya adalah 68.4 KW. Terjadi penurunan yang cukup signifikan terhadap nilai rugi total karena pada tabel perhitungan 4.10 selisih daya antara nilai rugi total terendah dan tertinggi cukup jauh. Sementara itu nilai daya output juga memiliki selisih yang cukup jauh antara nilai output terendah dengan nilai output tertinggi yang disebabkan oleh perbedaan nilai tegangan dan daya pada tabel perhitungan. Sedangkan untuk nilai efisiensi terendah dan efisiensi tertinggi adalah 99,336 % dan 99,526 %.

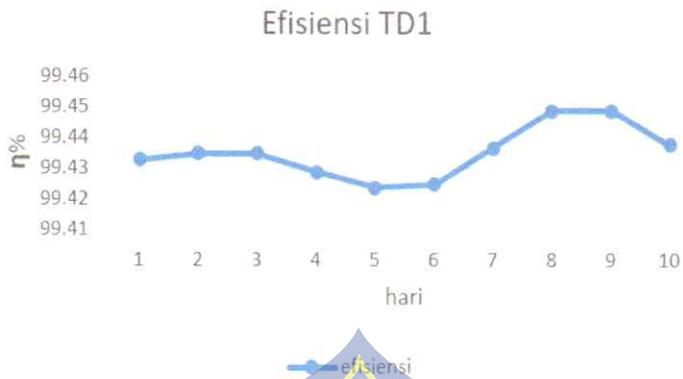
C. Grafik pembebanan tertinggi malam terhadap rugi dan efisiensi TD1



Gambar 4.9 Grafik Rugi Total TD1 Malam Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.11



Gambar 4.10 Grafik Daya Output TD1 Malam Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.11



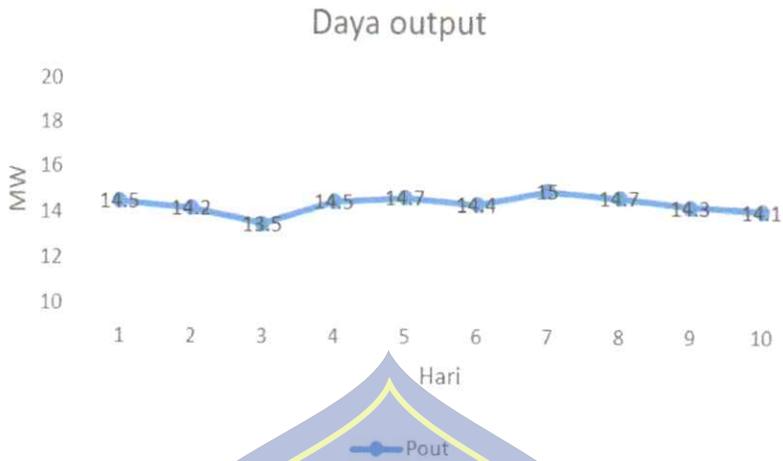
Gambar 4.11 Grafik Efisiensi TD1 Malam Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.11

Pada gambar 4.9 dan 4.10 terjadi peningkatan rugi total dan daya output dengan nilai yang sama pada tanggal 8 dan 9 dimana rugi total dan daya output tertinggi keduanya adalah 62 KW dan 11,2 MW, hal ini disebabkan karena nilai daya, tegangan dan $\cos \Phi$ pada saat pembebanan pada tanggal 8 dan 9 memiliki nilai yang sama saat perhitungan pada tabel 4.11. Sedangkan nilai efisiensi terendah pada gambar 4.11 sebesar 99,424 % dan efisiensi tertinggi sebesar 99,449 %.

D. Grafik pembebanan tertinggi malam terhadap rugi dan efisiensi TD2



Gambar 4.12 Grafik Rugi total TD2 Malam Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.12



Gambar 4.13 Grafik Daya Output TD2 Malam Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.12



Gambar 4.14 Grafik Efisiensi TD2 Malam Berdasarkan Hasil Perhitungan Pada Tabel 4.12

Dapat dilihat pada gambar 4.12 grafik rugi total berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.12, dimana rugi total terendah transformator 1 pada saat beban tertinggi siang sebesar 73 KW sedangkan rugi total tertingginya adalah 80.3 KW. Selisih nilai rugi total terendah dengan rugi total tertinggi tidak terlalu jauh karena hasil perhitungan dayanya memiliki selisih nilai

yang tidak jauh juga. Sementara itu pada gambar 4.13 daya output terendah sebesar 13,5 MW dan daya output tertinggi sebesar 15 MW. Sedangkan untuk garis grafik efisiensi terendah dan tertinggi terlihat lurus karena selisih Pout dan Rugi total masing-masing pembebanan tidak terlalu jauh.

Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa nilai efisiensi rata-rata transformator 2 lebih besar dibandingkan dengan efisiensi transformator baik efisiensi transformator pada saat beban puncak siang maupun efisiensi pada saat beban puncak malam. Dari hasil penelitian diatas dapat pula diketahui bahwa rugi-rugi yang ada pada transformator 1 dan 2 dipengaruhi oleh besarnya arus dan tegangan, dimana semakin tinggi nilai arus dan tegangan maka rugi yang dihasilkan akan semakin tinggi juga begitupula sebaliknya. Berikut diuraikan table perbandingan efisiensi rata-rata antara transformator 1 dan transformator 2.

Tabel 4.13 efisiensi rata-rata transformator 1 dan 2

Pembebanan	Tranformator 1	Transformator 2
Beban Tertinggi Siang	99,337%	99,437%
Beban tertinggi malam	99,435%	99,465%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- A. Pada tabel 4.5 sampai 4.6 rugi tembaga yang dihasilkan transformator 3 fase semakin bertambah apabila nilai pembebanan transformator semakin bertambah. Faktor daya tidak mempengaruhi rugi-rugi pada transformator.
- B. Nilai rata-rata efisiensi transformator 2 lebih tinggi dari transformator 1, dimana efisiensi transformator 2 saat beban puncak siang yaitu 99,437 %, efisiensi transformator 1 saat beban puncak siang 99,337 %, efisiensi transformator 2 saat beban puncak malam 99,465 %, dan efisiensi transformator 1 saat beban puncak malam 99,435 %.
- C. Persentase pembebanan transformator 1 siang dengan daya tertinggi 15,2 MVA sebesar 25% dengan nilai efisiensi 99,319 %, transformator 2 siang dengan daya tertinggi 22,3 MVA sebesar 37% dengan nilai efisiensi 99,451 %, transformator 1 malam dengan daya tertinggi 19,8 MVA sebesar 33% dengan nilai efisiensi 99,449 %, transformator 2 malam dengan daya tertinggi 26,3 MVA sebesar 44% dengan nilai efisiensi 99,468%.

5.2 SARAN

- A. Perlunya pembahasan terhadap regulasi tegangan dan juga gejala-gejala harmonik yang ada pada transformator guna untuk memperdalam tentang penelitian terhadap transformator;
- B. Melakukan penelitian pada trafo yang melakukan pencatatan suhu lingkungan langsung pada lingkungan Transformator;
- C. Penelitian selanjutnya dilakukan pada transformator dengan pendingin yang lebih kompleks misalnya kombinasi ONAN /OFAF atau ONAN /OFWF.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Azis, 2018. *Rugi-rugi Daya Pada Transformator U019 PT PLN (PERSERO) WS2JB Rayon 2 Ampera Akibat Ketidakseimbangan Beban*. Vol.3 No.1 Juni 2018.
- Chapman Stephen J, 1999. “*Electric Machinery Fundamentals*”, Third Edition McGraw Hill Companies, New York.
- Dendi Kongah. Muh Sarjan. Baso Mukhlis, 2014. *Analisis Pembebanan Transformator Gardu Selatan Kampus Universitas Tadulako*. Jurnal MEKRIK Vol. 1 No. 1, September 2014.
- Dhuha, Z. F. 2015. *Analisa Berbagai Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa dalam Keadaan Beban Lebih (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik)*.
- Eko Pramuwignyo. Setia Gunawan, 2021. *Analisa Sistem Sinkronisasi (Supply Pln Dan Generator Sinkron Tiga Fase) Dalam Bentuk Alat Trainer Laboratorium*. Jurnal Kajian Teknik Elektro-Vol.6 No.1 Maret 2021.
- Esye yendi. Lesmana sigit, 2021. *Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan*. Volume XI. No. 1 Maret 2021.
- Harlow. James.H, 2004. “*Electric power transformer engineering*”, CRC Press LLC. Florida.
- Indrakoesoema, K., 2012. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Kering BHT02 RSG GA SIWABESSY Terhadap Arus Netral dan Rugi-rugi*.

Janter Napitupulu, Demak Tinambunan, Lego Sitinjak, 2021. *Studi Efisiensi Transformator Tiga Fase*. Jurnal Teknologi Energi UDA Vol. 10, Nomor 1 Maret, 2021 :8-16.

Kukuh Syauqi Likoirobby, 2020. *Analisis belitan Tersier Dan Perancangan Parameter Tafo Daya Akibat Dari Ketidak Seimbangan Beban Gardu Induk : Desain Pemerataan Beban Setiap Fase*. Universitas Gadjah Mada.

Mutiar, 2014. *Perhitungan efisiensi transformator 60 MVA di PT. PLN (PERSERO) gardu induk prabumulih*.

PT.PLN (Persero). 2014 *Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus nomor: PDM/PGI/02:2014*.

Theraja, 1978. *A Text-book of Electrical Technology, 17th. 17th Revised penyunt.*

Wijaya, M., 2001. *Dasar- Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan.

Zuhul. 1982. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: ITB

Za'im, M. R. 2014. *Analisa Transformator Daya 3 Fasa 150 kV/20 kV Pada Gardu Induk Ungaran PLN Distribusi Semarang*. Edu Elekrika Journal.